

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

**A légkörfizika és a csillagászat elemeinek
felhasználása a fizika középszintű oktatásában**

Döményné Ságodi Ibolya

Témavezető: Dr. Tasnádi Péter, egyetemi tanár

**ELTE TTK Fizika Doktori Iskola
Vezető: Dr. Palla László**

**Fizika Tanítása Doktori Program
Vezető: Dr. Tél Tamás**



**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar**

2015

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
I. rész: Jelenségek megfigyelése és értelmezése	7
1. A halójelenségek	8
1.1. Bevezetés, a téma illesztése a tananyaghoz	8
1.2. Szakirodalmi áttekintés	10
1.2.1. Halók a történelemben	11
1.2.2. A halójelenségek csoportosításai	12
1.2.3. A jégkristályok orientációja	14
1.3. Halójelenségek a középiskolai oktatásban	15
1.3.1. Motiváció	15
1.3.2. A modellkészítéstől a fényképezésig	16
1.3.3. A CZA középiskolai értelmezése	19
1.3.4. Számítások a középiskolában	19
1.3.5. Szimulációk	22
2. A Vénusz átvonulás	27
2.1. Szakirodalmi áttekintés	27
2.1.1. Történeti háttér	28
2.2. Számítások és megfigyelés	29
2.2.1. Az átvonulás periodicitása	29
2.2.2. A csillagászati egység meghatározása	31
2.2.3. Megfigyelés Szekszárdról	34
II. rész: Környezetfizikai és földrajzi mérések	36
3. Egyszerű földrajzi helymeghatározás	37
3.1. Szakirodalmi kitekintés	37
3.1.1. Az időmérés problémája	37
3.1.2. Az időmérés problémájának okai	39
3.2. Mérés a középiskolában	40
3.2.1. Földrajzi szélesség	41
3.2.2. Földrajzi hosszúság	43
4. Radarmérések és értelmezésük	46
4.1. A téma elhelyezése a tananyagban	47
4.2. Szakirodalmi áttekintés	48
4.2.1. A radar, radaregyenlet	48
4.2.2. Az időjárási radarok	50

4.2.3. Egy gyakorlati alkalmazás	52
4.3. A mérések elvégzése a gyakorlatban	53
5. Fényszennyezésre vonatkozó vizsgálatok	56
5.1. Szakirodalmi áttekintés	56
5.1.1. A fényszennyezés fogalma	56
5.1.2. A fényszennyezés hatásai	57
5.1.2.1 A fényszennyezés ökológiai hatása	57
5.1.2.2. A fényszennyezés egyéb hatásai	59
5.1.3. A fényszennyezés keletkezésének fizikája	60
5.2. A projekt munka	61
5.2.1. A motiváció	61
5.2.2. Hipotézis felállítása	62
5.2.3. A mérőeszköz	62
5.2.4. A méréssorozat	63
5.2.5. Hipotézisünk igazolása, eredményeink	65
III. rész: A kutatási eredmények hasznosulása	66
6. Motiváció, tehetséggondozás	67
6.1. A motivációról	67
6.2. A fizikai tehetség mibenléte	68
6.3. Motiváció és tehetséggondozás a gyakorlatban	69
6.4. A tanulói tudás változásának mérése	72
6.4.1. A légköroptika kérdőív válaszainak elemzése	72
6.4.2. A csillagászat kérdőív válaszainak elemzése	74
6.5. Az attitűd változásának vizsgálata	75
Összefoglalás	78
A dolgozat alapjául szolgáló publikációk	80
Hivatkozások	81
Függelék	83
A) Történelmi halójelenségek	84
B) Tanmenet és óratervek a halójelenségek tanításához	87
C) Szakköri tematikák	99
D) Megfigyelési gyakorlatok	105
E) Kérdőívek	111
F) Tanulóim munkáiból	113
Köszönetnyilvánítás	116
Summary	117

Bevezetés

„Szerény alakban kezdjük meg ezt a tevékenységet, szerény számú munkatárssal, kisded csapat élén: de tudatában vagyunk munkánk alapvető jelentőségének. Tudjuk, hogy olyan alapfalakat kell raknunk, amelyre palotát lehessen építeni, azt a palotát, mely nagyszerű méreteivel és szemet gyönyörködtető díszítményeivel lelkünkben már megalkotva él.”

Wigand Jánosnak, a Garay János Gimnázium első igazgatójának, 1896. szeptember 10-én, az első tanévnyitón mondott szavai, az induló gimnázium tantestületére és épületére vonatkoztak, átvitt értelemben azonban saját céljaimat is kifejezik, hiszen diákjaim fejében én is gyönyörű szép palotát szeretnék felépíteni, a fizikatudomány palotáját.

Szükség is lenne lelkes hitvallással dolgozó szakemberekre, hiszen az elmúlt években a természettudományok tanítása az egész világon kritikus helyzetbe került. Ez a folyamat a tőlünk nyugatra elhelyezkedő országokban már korábban jelentkezett, mostanra azonban Magyarországon is ijesztő méreteket öltött. A diákok véleménye a fizika vagy a kémia tantárgyokról az, hogy ezek túl nehezek és unalmasak. Sokat olvashattunk az elmúlt évtizedben a fizika diákok általi rossz megítéléséről. Ennek okai meglehetősen összetettek. Bizonyosan ezek közé tartozik az is, hogy a tanulók nehéznek és elvontnak ítélik a tárgyat. Nem mindegy, hogy mit tanítunk, milyen szinten, hogyan, és nem utolsósorban, hogy kiknek. Néhány korábbi akadémikus felépítésű és felfogású tankönyv sok mai diák számára érdektelen, mert száraz és nem alkalmazkodik a diákok életkorához, érdeklődéséhez.

A diákok lehetnek már fiatalon is nehezen kezelhetőek, hiszen, sokan elutasítók az iskolai tanulással szemben és az elmélyült gondolkodást szinte nem ismerik. Jómagam nem a legnehezebben kezelhető diákokkal, hanem nagyrészt olyanokkal foglalkozom, akik tudatosan dolgoznak és jövőjük megalapozását is a továbbtanulásban látják. Közöttük is tapasztalhatók azonban különbségek a különböző érdeklődési területű tanulók fizika iránti attitűdjében, s az érdeklődés felkeltése sem mindig egyszerű. A matematika-fizika emelt óraszámú osztályokban természetesen ilyen probléma nincsen, a diákokat belső indíttatás vonzza a fizikához. A humán vagy nyelvi orientációjú osztályokban azonban gyakran nehéz fizikát tanítani, nem egyszerű a diákok motiválására alkalmas módszerek megtalálása. Egységes módszer már csak azért sem javasolható, mert a tanított csoportok létszáma is nagyon különböző lehet. A közismerten legerősebb motivációs hatás, a kísérletezés, a nagy létszámú osztályokban „tanárt próbáló” munka. Ezekben az osztályokban a jelenlegi szertári felszerelés mellett tanulókísérletről legfeljebb álmodni lehet. Megfelelő eszközkészlet esetén is meggondolandó azonban, hogy milyen feltételek mellett vállalható a kísérletek előkészítése, és hogyan valósítható meg a tanulói munka hatékony tanórai irányítása. A motiváció eszközeként ezekben az osztályokban inkább a tanulók mindennapi életéhez kapcsolódó tananyagok feldolgozását érdemes használni.

A fizika irányában továbbtanuló középiskolások számát tekintve drasztikus mérvű csökkenés figyelhető meg. Mindezzel együtt az érettségizett tanulók tudásszintje is egyre csökken, sokszor nincsenek még az alapvető fizikai törvények megértésének birtokában sem. A szaktanárok keresik az útját, hogy hogyan lehetne érdekesebben és még vonzóbb formában tanítani a fizikát, és hogy ezen erőfeszítések hogyan segíti elő a tanulók tudományos műveltségét.

A fizika iskolai tanításának egyik legfontosabb célja, hogy olyan ismereteket adjon, melyek által segít abban, hogy ifjú felnőtté érve a tanulók képesek legyenek megérteni a mindennapi élet dolgait. A projektek feladata, hogy kapcsolatot teremtsenek a fizika modulok és a gyakorlati élet között, ezeken keresztül a fizika modulok képesek integrálni a mindennapi élet

problémáit a középiskolai tantervbe. Sejtéseink, hogy a fizikát, a fizikai témákat, közelíteni kell olyan kérdésekhez és jelenségekhez, amelyek első pillanatban nem is tűnnek fizikainak (példa: bazárban kapható „ugró béka”), természetesen nagyon fontos a modulok projektmunkára történő, alapos, megfelelő kiválasztása, mert a fizika csak egy speciális része a fiatalok általános oktatásának. Feldolgozásuk segítségével fejlődnek a speciális kognitív funkciók a fiatal felnőttek gondolkodásában, azt azonban tudni kell, hogy mindennapi élet jelenségeinek a fizika törvényeivel való kezelése nem olyan egyszerű, mint amilyennek elsőre látszik.

Miért éppen a csillagászat és a légköri fizika elemeit ajánlom a fizika népszerűsítésére?

A légkör és a benne lezajló folyamatok nagyon érdekesek és a mindennapi életünket erősen befolyásolják. Felhők és szivárványok, zivatarok és villámlás, gyönyörű, izgalmas és néha ijesztő jelenségek. A téma iránt érdeklődő emberek csoportjai észlelőhálózatot alkotva, fanatikusan figyelik ezeket a jelenségeket, és fotókat, videó felvételeket készítenek róluk (ilyenek találhatók például az Arbeitskreis Meteore e.V. honlapon). A tantervek csak nagyon visszafogottan tartalmazzák a fizika fenti területeit, saját tapasztalatom azonban az, hogy nem nehéz a diákok kíváncsiságát felkelteni a fent említett látványosságok bemutatásával.

A légkörben lejátszódó folyamatok összetettségük miatt rengeteg adattal írhatók le, de az internet segítségével mára már sok mért adat könnyen elérhető. A meteorológiai adatok, a légkörről készült műhold- és radarképek a tanárok számára széles lehetőséget kínálnak projektmunkák témájaként, de ezek jó terepet biztosítanak arra is, hogy felhasználásukkal önálló kutatómunkát végezzenek. A légkörfizika a klasszikus és modern fizika majdnem összes tudományterületét lefedi, így jó lehetőséget biztosít arra, hogy a problémák feldolgozásán keresztül bemutassuk a fizika változatos területeinek törvényszerűségeit.

A társadalomban meg kell küzdeni a fizikával kapcsolatos előítéletekkel is. Nagyon sokan nem hisznek a problémák természettudományos alapon történő megoldásában. Kiábrándulást, ellenérzést szültek az olyan kudarcok, mint a csernobili vagy fukushimai baleset, vagy az űrsikló 1986-os katasztrófája. Sokan aggódnak a tudományos eredmények ipari méretű felhasználásának éghajlatváltozást okozó hatása miatt bekövetkező fékezhetetlen természeti katasztrófák és a biológia fejlődése által lehetővé tett génkezelt élelmiszerek fogyasztásának beláthatatlan következményei miatt is. Megjelentek a tudatos károkozást feltételező összeesküvés elméletek, amelyek szerint például a nagy olajcégek akadályozzák meg az új korlátlan energiaforrások (zérus ponti energiával működő gép, vízzel hajtott gépkocsi stb.) használatba vételét. Kiemelem ezek közül a chemtrail conteoként emlegetett, egyre inkább terjedő rémhírt, melyet éppen az általam is fontosnak tartott és a középiskolai oktatásba bevont légköri optika cáfolhat. (A rémhír szerint az ipari folyamatok során keletkező káros anyagok egy részétől úgy szabadulnak meg, hogy repülőgépekről a légkörbe szórják.)

Egyéni érdeklődésem a fizikán belül a földrajzzal kapcsolatos határterületekre nyúlik át: a meteorológiával kapcsolatos kérdéskörre, valamint a légköri optika és a csillagászat területére. A témák szinte mindegyike kapcsolódik a fényhez, így külön örömet jelent számomra, hogy disszertációm az Európai Fizikai Társulat (EPS) által kezdeményezett Fény Nemzetközi Évében születik meg. A Fény évéhez kapcsolódik a Kozmikus Fény alprogram, amelyet a Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) koordinál, s amely programban gimnáziumi diákjaimmal aktívan részt veszünk. A csillagászat a tudománytörténet kezdete óta vezető szerepet játszik a bennünket körülvevő világ megértésében. Nincs, és valószínűleg nem is lesz ez másképp a XXI. században sem: az Univerzum kialakulásának és fejlődésének, a

Világegyetemet alkotó anyag összetételének, vagy éppen a más csillagok körül keringő bolygók egyre alaposabb és szélesebb körű vizsgálata nagy horderejű felfedezések ígérétét rejt magában az elkövetkezendő időkre is.

Doktori dolgozatomban a meteorológia és csillagászat elemeinek a középiskolai oktatásban történő felhasználási lehetőségeit tárgyalom. Bemutatom Szekszárdi Garay János Gimnáziumban végzett, ezzel kapcsolatos pedagógiai kutató-fejlesztő munkámat, a tapasztalatokkal és eredményekkel együtt. **Előzetesen megjelent cikkeimre a publikációs jegyzékben feltüntetett szögletes zárójeles számokkal hivatkozom.**

A dolgozatban alkalmazott kutatási módszerek

A középiskolai tanárok számára a kutatási módszerek egy kissé eltérnek a kutatóintézetekben dolgozó kutatókétól. A középiskolai tanár tanítva kutat vagy kutatva tanít, ezzel a szójátékkal eljuthatunk az inquiry based learning – IBL, a kutatásalapú tanítás módszeréhez, amelyet a környezetfizika szakkör foglalkozásain alkalmaztam és alkalmazok jelenleg is. A módszer előnye, hogy lehetővé teszi a tanítás és a kutatás integrációját.

Kutatási módszereimet két fő csoportba lehet sorolni. Az egyik csoportba a fizika, mint a természettudomány kutatási módszerei tartoznak: a tanulói mérések és szakköri projektek kidolgozásakor a témának megfelelő fizikai mérőeszközöket használtam: mérést, fényképezést, számítógépes szimulációkat.

A másik csoportba a pedagógiai hatékonyság vizsgálati módszereit sorolom: a tanítás sikerességének ellenőrzésére elsősorban saját tapasztalataim szolgáltak, a pedagógia módszerei közül a kis mintákkal végzett tanítási gyakorlatokra vonatkozó eljárásokat alkalmaztam. A primer kutatási technikáim célja az adat- és információgyűjtés, amelynek fő módszerei a megfigyelés, kísérlet, kérdőív vagy interjú formájában történő megkérdezés. Megfigyeléseink strukturáltak voltak, hiszen előre meghatároztuk, hogy mi a megfigyelés tárgya, és hogy milyen módszerekkel végezzük a megfigyeléseinket. Pontatlan megfigyelést eredményezhet az emberi szubjektivitás: a figyelmetlenség és a szelektív észlelés (amikor azt látjuk, amit szeretnénk). Szóbeli kikérdezéssel is gyűjtöttem információkat, melynek egyik módszere az interjú és kérdőív segítségével végrehajtott írásbeli kikérdezés is történt. Fontos a kérdések felülvizsgálata abból a szempontból, hogy a kérdőív legyen érthető, célratörő, elegendő, optimális hosszúságú és sorrendű, valamint könnyen kiértékelhető. Az interjú általában kötetlen, beszélgetés jellegű, interaktív, flexibilis és adaptív, előre tervezett. Egyik fajtája a mélyinterjú, mely tervezett és kontrollált, hiszen kérdéstervet készítünk előre. Az interjúalany szabadon fejti ki véleményét, amelynek eredménye az lehet, hogy korábban számításba nem vett szempontok, ötletek merülhetnek fel. Az interjúk elemzése nem könnyű feladat, általában szövegelemzéssel kvalitatív következtetéseket fogalmazunk meg. Emellett hasonlóságokat és eltéréseket is kereshetünk az interjúkban.

Feladatlapokkal és tanulói kiselőadásokkal ellenőriztem a megszerzett tudást. Az attitűd javulására vonatkozó feltevéseimet beszélgetések, mélyinterjúk elemzésével igazoltam. A pedagógiai hatékonyság vizsgálatokor visszajelzésként azért használtam kvalitatív kutatási módszereket (kérdőívek, mélyinterjúk, majd az interjúk tartalmának, szövegének elemzése), mert a szövegből, kommunikációs egységből szubjektív információkat, elsősorban attitűdöket, értékeket, motivációkat akartam feltárni. Ilyenkor érvényesülnek a kvalitatív kutatás folyamatának jellegzetességei: nem előre meghatározott kategóriákkal dolgozunk, értelmezzük az olvasottakat, igyekszünk közel kerülni a szöveget létrehozók világához, értelmezéseihez. *(Szabolcs, 2001)*

I. rész

Jelenségek megfigyelése és értelmezése

Napjaink legégetőbb környezetvédelmi problémája az, hogy milyen hatással van az emberi tevékenység a környezetre. A környezettudatosan élő emberek nemcsak a földi, hanem égi környezetünket is szemmel tartják. A régi korok embere azért vett észre oly sok érdekes tüneményt az égen, mert sokkal inkább természetközelen élt, mint a mai ember. Jobban ki volt szolgáltatva az időjárás viszonyosságainak és a természeti csapásoknak, elemi érdeke volt tehát hogy figyelje a nappali és éjszakai égbolt jelenségeit. A csillagászat tudománya is megkövetelte a légkör optikai jelenségeinek nyomon követését. A nehezen magyarázható és gyakran félelmetes jelenségekhez sokféle babona és téveszme kapcsolódott, s ezek egy része még ma is hat a diákok természettudományos elképzeléseire. A régi korok hiedelmeinek magyarázata, cáfolata, távoli műveltségterületeket, az irodalmat, történelmet és a fizikát, csillagászatot kapcsolhatja össze, s még a természettudományokat kevésbé kedvelő tanulók érdeklődését is felkeltheti. Természetes motiváló erő lehet a megfigyelt jelenségek szépsége is, az esztétikai élmény, amit egy-egy szivárvány, színpompás napfelkelte, halójelenség vagy sarki fény látványa nyújthat.

Dolgozatomban egy légköroptikai jelenségkör a halójelenségek és egy csillagászati jelenség a Vénusz átvonulás középiskolai feldolgozására kidolgozott szakköri anyagot, a jelenségek megfigyelését bemutató diákprojekteket és a projektek tanítási hatását, eredményeit mutatom be. Mindkét esetben rövid összefoglalást adok a jelenségek fizikájáról is, teszem ezt azért, hogy a módszert használó kollégák számára háttértudást és szakmai fogódzót biztosítsak a széles szakirodalomban való tájékozódáshoz.

1. Halójelenségek [1] [2]

1.1. Bevezetés, a téma illesztése a tananyaghoz

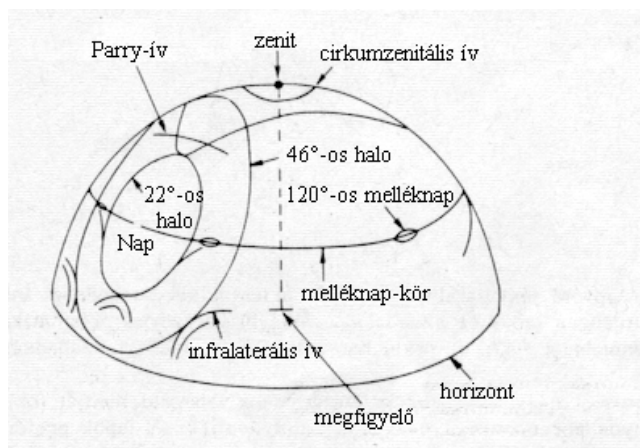
Nagyon kevésbé ismert fénytörési jelenség a változatos megjelenési formájú halójelenségek csoportja. Míg szivárványt a tanulók gyakran láthatnak, viszonylag jól ismerik (sőt a megfelelő geometriát biztosítva, akár elő is idézhető locsoláskor vízcseppek porlasztásával), addig a halójelenségekről nem is hallottak. Ennek oka az lehet, hogy nyáron szép időben az emberek szívesebben néznek fel az égre, mint őszi-téli időszakban, amikor a halójelenségek feltűnnek az égen. Nyári zápor, zivatar elmúltával szintén gyakorta kémlelik az eget, hogy nyomon kövessék az eső utáni időjárás alakulását. A halójelenségek számos formája ráadásul a Nap közelében látszik, a szabad szemmel történő odapillantás kellemetlen a szemnek, ezért az emberek maguktól nem néznek oda, sokszor még akkor sem, ha a jelenségre felhívták a figyelmüket. Ezzel szemben, a szivárvány megcsodálásakor pedig háttal vagyunk a Napnak, ami a szemnek nagyon kényelmes, és szép színes is a látvány, tehát sokan megnézik.

Az 1. ábra egy komplex halójelenséget és számítógépes szimulációját mutatja. A felvétel a déli sarkon készült, a gyémántpornak nevezett, finom jég szemekkel telített levegőben, a szimulációja pedig az interneten elérhető HaloSim3.6 programmal.



1. ábra. Balra: komplex halójelenség (fotó: Jarmo Moilanen, Déli Sark, 1999. január 11.)
Jobbra: A jelenség szimulációja (forrás: internet: www.sommeriko.net)

A második ábra a halójelenségek sokféleségét ábrázoló sematikus kép. Mindkettő mutatja, hogy nagyon változatos, sokféle formában megjelenő tüneménnyel van szó, amelynek értelmezése egyszerű, de a fénytani ismeretek pontos alkalmazását követeli. Elsősorban emiatt tartottam fontosnak, hogy a tanulók részletesen megismerjék a halójelenségeket, remélve azt, hogy ennek során formálódik a fizika iránti attitűdjük is. Egy váratlanul bekövetkező komplex fényjelenség aztán tovább erősítette szándékomat, hogy környezetfizika szakköröm egyik témájaként válasszam a kérdéses témakörből a fénytörési jelenségek csoportjába tartozó halójelenségeket.



2. ábra. Térbeli kép néhány fontosabb halókomponensről (Czelnay R., 2004)

A különböző halójelenségek egyértelmű kapcsolatba hozhatók meghatározott kristályfajtákon átmenő jól meghatározott sugármenetekkel.

A légköroptikai jelenségek motiváló ereje

A légköri optika interdiszciplináris témakör, földrajzórán is előkerül a csapadékok témakörénél, fizikaórán pedig az optikánál, de egyik esetben sem jut elegendő idő, a téma megfelelő mélységű tárgyalására. Pedig ezek a jelenségek érdekesek és segíthetnek választ adni a fizika tanulásával kapcsolatban a szülőkben és tanulóknál is felvetődő kérdésre: „Miért kell megtanulni a bonyolult fizikai elméleteket, hiszen semmire sem használhatjuk őket?”. A halójelenségek tanulmányozásakor a tanulók példát láthatnak a fizikai törvények alkalmazására. Tapasztalhatják, hogy a fénytörés fizikai törvénye alapján írt programokkal modellezhetők a halójelenségek, mi több ismerve a légkörben uralkodó fizikai körülményeket, megjósolható bizonyos légköroptikai jelenségek bekövetkezése. Vagy fordítva: ha láttunk, vagy a történelmi korokban láttak valami érdekes tünetet, akkor szimulációval utána járhatunk, hogy milyen légköri viszonyoknak kellett akkor uralkodniuk, hogyan jött létre az adott jelenség. A jelenségből következtethetünk arra, hogy a magas szintű felhők milyen szerkezetű kristályokból állnak.

Tekintsük át, hogy milyen módon tartalmazzák (vagy nem tartalmazzák) a jelenleg használt tankönyvek ezt a témakört! Az általam vizsgált halójelenségek sem a fizika, sem a földrajz tankönyvekben nem szerepelnek részletesen, bár most a Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó 2013-as kiadású, tizenegyedik évfolyamos fizika tankönyvében a 24. lecke olvasmányai között szerepelnek a légkör fényjelenségei, de hibásan. A holdudvar keletkezésének fizikáját apró vízcseppeken bekövetkező fényelhajlás és fényszóródás elvén – helyesen - leíró szöveg mellé egy holdhaló képe került, amely jégkristályok okozta fénytörési jelenség. Itt jegyzem meg, hogy az utca embere is minden a Nap és a Hold körül látszó fénykört „udvar”-nak nevez. Nap körüli jelenségeket nemigen figyelnek meg az emberek (a vakító fény miatt), a Hold körül viszont igen, hiszen annak gyengébb fénye miatt bátran oda(bele)néznek. A Mozaik kiadó fizika tankönyve (11. évf.) pedig csak a szivárványt említi meg a megjegyzésekben.

A téma hasonlóan mostohán kezelt a jelenleg használt földrajzönyvekben is. A Mozaik kiadó: Földrajz 9: „A geoszférák” című fejezet 3. leckéje: A felhő és csapadékképződés című lecke végén érdekességeként szerepel a villám és a szivárvány, de a halójelenségekről nem esik szó. A nemzedékek tudása Kiadó: Földrajz 9 című könyvében, „A légkör földrajza” című fejezetben nincs szó a légköri fényjelenségekről.

1. 2. Szakirodalmi áttekintés

Nem célja dolgozatomnak a halójelenségek teljes körű bemutatása, hiszen mind nyomtatott formában, mind az interneten kiterjedt irodalmuk van (W. Tape, 1994, <http://www.atoptics.co.uk>, leghalok.hu). Szükségesnek érzem azonban a legfontosabb fizikai és történeti tények összefoglalását, hogy érzékelhetők legyenek a szakköri anyag válogatási elvei, és a tanulói munka szakmai háttere.

Fontosnak tartom annak bemutatását, hogy hogyan lehet áttekinteni a nagyon sokféle jelenséget, egyáltalán milyen csoportosításait ismerjük a halójelenségeknek? Milyen alakú jégkristály milyen jelenségekhez hoz létre?

1. 2. 1. Halók a történelemben

Már az ókorban történtek naiv feljegyzések halójelenségekről. Például „három Holdat” láttak megjelenni az égen, vagy „égő fáklyát”, ami az első esetben azt jelenti, hogy melléknapokat figyeltek meg (mert eleinte a melléknapokat Holdként ábrázolták), a második esetben pedig Nap-oszlopokat láttak. A középkorban az összegyűjtött röpiratokban találhatunk sajátos, halójelenségekre történő utalásokat. Jóslatként, gyakran háború, tűzvész és más katasztrófák előjeleinek tekintették őket. Előfordult, hogy olyan tüneményeket jelenítettek meg egy ábrán, amelyek egy időben nem is láthatóak, ezért kellő óvatossággal kell ezeket kezelnünk, nem tekinthetők természettudományosan egzakt forrásoknak, mégis érdekesen tükrözik a kor felfogását. A korai példák után a tanulók számára további motivációt jelenthet a részletes leírások formájában közzétett 1620-as Scheiner-féle római észlelés, az 1661-es Heveliusi észlelés, az 1790-es Lowitz (Szentpétervári) észlelés és az 1820-as Parry (Melville sziget) észlelés megismerése, amelyeknek részletes leírása a kutatások eredményeként közzétett szakcikkekben, a témáról szóló szakkönyvekben megtalálhatók. Az **A) függelékben** mutattam be néhány híres-hírhedt történelmi eseményhez tartozó halójelenséget, melyekkel a humán és nyelvi tagozatos diákokat kiválóan tudtam motiválni.

Természetesen ismerünk a későbbi időkből is számos szép megjelenésű halókomplexet, ezek közül kiemelném az 1929. február 3-i Kalocsán észlelt tüneményt, melyet egy festőművész (Rökk Károly) vízfestményen megörökített (ld. 4. ábra jobb oldala).

Elsőként Descartes magyarázta a halójelenségek keletkezését jégkristályokon bekövetkező fénytörésekkel és fényvisszaverődésekkel. Pontosabb magyarázatokat csak a XX. század elején megjelent könyvekben olvashatunk (pl. az 1910-ben megjelent *Meteorologische Optik* osztrák szakkönyvben)

A történelmi halójelenségek tanulók általi tanulmányozásának haszna a motivációs hatáson kívül a téma interdiszciplináris volta. Általa a történelmet is egy más megvilágításból látja a gimnáziumi tanuló. Személyes példámmal szeretném ezt illusztrálni: középiskolában egy kissé száraznak éreztem a történelmet, de amikor Gazda István tudománytörténeti előadásain a csillagászat történetét hallgattam, felmerült bennem az a gondolat, hogy de jó lenne a tudománytörténeten keresztül tanulni ezt a tantárgyat. Az irodalomban is megjelenhetnek leírások különleges természeti jelenségekről. A példák sora messzire vezetne, itt csak kettőt említek meg: pl. Shakespeare VI. Henrik című darabjában egy halójelenség leírása szerepel (ld. **A) függelék**) vagy Vajda János versét, amely egy látványos üstökös feltűnésekor született.

1. 2. 2. A halójelenségek csoportosításai

A halójelenségeknek többféle csoportosításuk ismeretes. A gyakorlatban történő megfigyelés szempontjából fontos csoportosítás a **gyakoriság szerinti** felosztás, amely megmutatja azt, hogy az adott jelenség milyen gyakran jelenik meg egy adott földrajzi helyen. Eszerint megkülönböztetünk **ritka és gyakori** halójelenségeket. A ritkán megfigyelhető halókat speciális, nehezen létrejövő kristályorientációk eredményezik, a gyakoriakat pedig természetesen a legkönnyebben létrejövő. A besoroláshoz a German Halo Research Group megfigyelői mintegy 50 000 észlelés feldolgozásával, felállítottak egy gyakorisági skálát (3. ábra).

halótípus	gyakoriság
22 ⁰ -os halógyűrű	100
Parhelia	73
Tangenciális ív	27
Naposzlop	16
Cirkumzenitális ív	13
Parhелиkus ív	4
46 ⁰ -os halógyűrű	3.9
120 ⁰ -os parhelia	1.2
Parry ív	1.1
Piramidális kristályokon keletkező halo	0.3
Supra és infralaterális ív	0.3
Alnap	0.2
Cirkumhorizontális ív	0.1
Egyebek	1.5

3. ábra. Gyakorisági táblázat

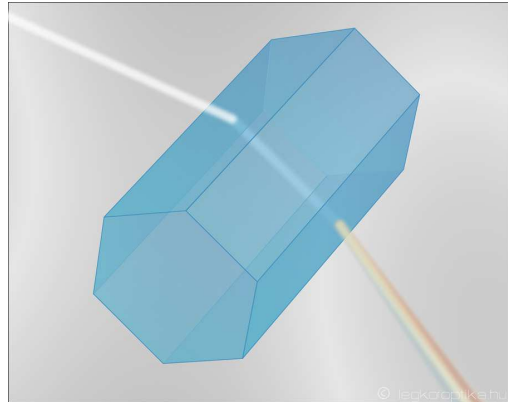
Az első **öt leggyakoribb** jelenség a következő: A leggyakoribb a 22⁰-os haló, ennek a gyakoriságát 100-nak vették és ehhez viszonyították a többi jelenség megjelenési sűrűségét. Ez azt jelenti, hogy ha a 22⁰-os halót évente 100 alkalommal figyelhetjük meg, akkor ehhez viszonyítva a második leggyakoribb jelenség a melléknap 73-as gyakorisággal, utána következnek az érintőívek 27, naposzlop 16, zenit körüli ív 13-as évenkénti megjelenési gyakorisággal.

A megfigyelési gyakorlatban kialakult egy, a jelenségek **összetettségét** figyelembe vevő felosztás. Eszerint tekintve a halójelenségeket, azok lehetnek egyszerűek és komplexek. Komplexnek akkor nevezünk egy halójelenséget, ha legalább két jelenségelem szerepel benne. Vannak tipikusan együtt megjelenő halók, melynek oka, hogy a benne szereplő elemek okozója ugyanaz a kristályforma (csak más-más orientációval) és persze léteznek egymást kizáró halójelenségek is.

A halókat megjelenésükben főszerepet játszó tipikus *kristályforma* szerint is lehet csoportosítani:

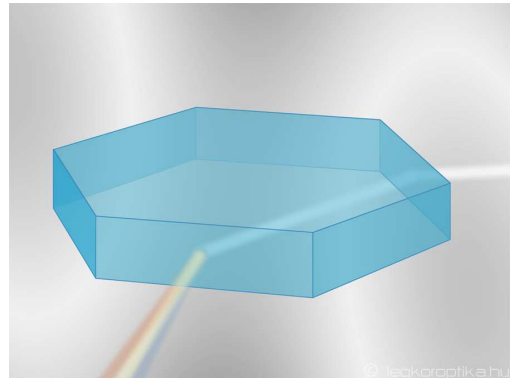
Az oszlopkristályok által létrehozott jelenségek:

22⁰-os halógyűrű
Felső érintőív
Alsó érintőív
46⁰-os halógyűrű
Felső oldalív
Alsó oldalív
Parry-ív



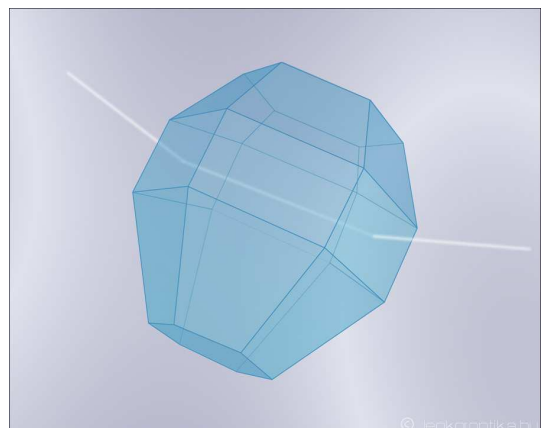
Lemez kristályok által létrehozott jelenségek:

Parhélia
Naposzlop
Zenit körüli ív
Parhélikus ív
Lowitz-ív
Alnap
120⁰-os parhélia
Horizontális ív



Piramidális kristályok által létrehozott jelenségek:

9⁰-os halógyűrű
18⁰-os halógyűrű
20⁰-os halógyűrű
23⁰-os halógyűrű
35⁰-os halógyűrű
23⁰-os melléknapp
23⁰-os érintőív



1. 2. 3. A jégkristályok orientációja

A légkörben, a magas szintű felhőkben lebegő hexagonális jégkristályok térbeli elhelyezkedése, orientációja elsősorban az alakjuktól függ.

Oszlopkristályok: Többféle térbeli helyzetet fel tudnak venni, mert függőleges és vízszintes tengely körül egyaránt elfordulhatnak. Legjellemzőbb azonban, hogy úgy állnak be, hogy a hossz tengelyük a horizonttal közel párhuzamosan helyezkedik el. A függőleges tengely körüli elfordulás befolyásolja a keletkező fényjelenség típusát.

Lemez kristályok: A kristályok közel vízszintesen lebegnek a rájuk ható gravitációs és közegellenállási erő eredőjének hatására. Ez a légkörben folyton változó körülmények miatt nem állandó, ezért a kristályok kissé billeghetnek, de a horizonttal párhuzamos lebegés jellemző erre a kristálytípusra. A kristály függőleges tengelye körül elfordulhat, ez az elfordulás meghatározza azt, hogy a csoportjába tartozó melyik jelenséget hozza létre.

Piramidálisok: A kristály lapjainak a száma 12 és 20 között változik. A többé-kevésbé szabályos kristály a térben szinte bármilyen állást felvehet, ezért az egy-egy jelenség számára kedvező állású kristályok száma kevés, ennek következtében nem jut a szemünkbe elegendő mennyiségű fény ahhoz, hogy feltűnő jelenséget lássunk. Ezért az általuk előidézett jelenségek halványak, alig észrevehetőek, kevésbé ismertek. (W. Tape, 1994)

Néhány kérdés azonban felmerült diákjaimban a halójelenségek csoportosításával kapcsolatosan:

Földrajzilag hol végezték a halójelenségek megfigyelését? Milyen évszakokban? Azon a földrajzi helyen milyen az időjárás jellemző a „halós” évszakokban? Tényleg érdemes átgondolni, hogy a gyakoriság szerinti besorolás kellő megfontolásokat igényel. Ugyanis vannak olyan halójelenségek, amelyek a Nap magasságától függenek, a Nap maximális horizont feletti magassága pedig földrajzi szélesség függvénye. Tehát, vannak olyan halójelenségek, amelyek bizonyos földrajzi szélességen sohasem figyelhetők meg, és vannak olyan földrajzi szélességek, ahonnan megfigyelhetők ugyan, de nagyon rövid időintervallumban, tehát gyakorisága ott egészen bizonyosan kisebb lesz. Megfigyelési lehetőségeik, gyakoriságuk a földrajzi helyszínen kívül erősen függ még az aktuális évszaktól és az időjárástól.

Az aktuális jelenséget létrehozó kristálytípus szerinti felosztásnak is megvan a maga nehézsége, ugyanis mivel a légkörben általában vegyes alakú és orientációjú kristályok vannak jelen, egy-egy konkrét haló kialakításában többféle kristály is részt vehet, így bizonyos esetekben nehéz elkülöníteni a jelenségeket.

Összegzés: A halójelenségek osztályozása *fizikai szempontból* tehát a halót létrehozó kristály, a kristályorientáció és a konkrét sugármenet megadásával tehető meg. A halóív és a halót létrehozó kristály valamint a geometriai helyzet összekapcsolása gyakran nem egyszerű. Vannak olyan halójelenségek (pl. parhélikus ív), amelyek kialakításában többféle kristályforma is részt vesz.

1. 3. Halójelenségek a középiskolai oktatásban

1. 3. 1. Motiváció

A szakirodalom áttanulmányozása után nyilvánvalóvá vált számomra, hogy a halójelenségek pontos magyarázata kissé bonyolult. A tanárnak nemcsak azért kell azonban nagyon pontosan elsajátítania a mögöttes tartalmakat, hogy felismerje, azonosítsa, átadja a legfontosabb ismereteket, de azért is, hogy biztosítani tudja a helyes választ is a tanulók kérdéseire. Vannak olyan esetek, amikor a légköri jelenségek pontos magyarázata, részletes elemzése nem ajánlott, érdemes inkább kikerülni a nehezen megvilágítható dolgokat, nehogy olyan zűrzavar keletkezzen a tanuló fejében, amely elbátortalanítaná és visszatartaná a témától. Ugyanakkor ezek a jelenségek különböző szinteken kezelhetők, magyarázhatók. A bevezető szintű tárgyalásnál a jelenség képekkel, videókkal, jelenség-szimulációkkal történő, minőségi leírását javaslom. Ez nagyon látványos és érdeklődésfelkeltő tud lenni. Erre ráépítve, ezekkel a kifejező anyagokkal egy mélyebb tárgyalás, elemzés is könnyen felépíthető lesz. A módszer jól illeszkedik a spirális tantervi elképzelésbe, ami a fogalmaknak és a tárgyaknak a folyamatokon keresztül történő ismétlését jelenti. Minden alkalommal, amikor egy fogalom újra előkerül, ismétlődik és egy egyre mélyebb tudást létrehozva, ráépül az azt megelőző fogalmi szintre.

Napjaink halójelenségeinek az interneten történő, naprakész nyomon követéséhez nyelvtudásra van szükség. A Szekszárdi Garay János Gimnáziumban hat nyelv közül választhatnak diákjaink, tanulmányaik végére sokan közép- vagy felsőfokú nyelvvizsgát tesznek, gyakran kettő, ritkábban három nyelvből is. Az idegen nyelvű halóirodalom tanulmányozása magabiztosságot és önbizalmat ad nekik, látva azt, hogy nyelvtudásuk olyan szintű, hogy segítségével megértik a jelenségek magyarázatait. A leggyakrabban angol (Atmospheric Optics) vagy német (meteoros.de) nyelvű honlapokon történő kutatás alkalmával megtapasztalják, hogy hogyan lehet nyelvtudásukat egy új szituációban alkalmazni és ez sikerélményt jelent számukra.

A tanulók érdeklődésének a felkeltése történhet a fejezet elején már említett híres **történelmi halójelenségekkel**. Erős a motivációs hatása a korunkban már mindenki számára elérhető internetes halóoldalakon közölt rendkívüli szépségű felvételeknek. Különösen ajánlom az **OPOD** (Optics Picture of the Day) oldalt, az Atmospheric Optics (szerk. Les Cowley) honlapon. Itt nagyon sok, magyarázattal ellátott, csodálatos légköroptikai felvételt láthatunk, közöttük sok magyar készítésű fotóval. Az egész világon megjelenő halójelenségeket gyűjtik össze a Halo Reports oldal szerkesztői, a finn Marko Riikonen és a magyar Kiricsi Ágnes. A legjobb motiváció természetesen, ha a diákok maguk is láthatnak „élőben” egy látványos jelenséget. Saját példámon keresztül: Miután a 2009. februári halójelenség felvételei mindenki számára elérhetőek lettek, készítettem belőlük egy összeállítást, és egyik fizika órám végén bemutattam az akkori tizedik osztályos diákjaimnak. Nagy hatással volt rájuk a bemutató, és rögtön azt kérdezték, hogy ők is láthatnak-e ilyent. Mikor és hogyan? - ez volt a következő kérdés. Még azon a tavaszon többször is láthattak a tanulók halójelenséget (pl. március 14-én, a diáknapi), ha nem is olyan szép komplex jelenséget, mint az alábbi ábrákon látható, melyeket motivációként szoktam bemutatni:



4. ábra. Balra: gyémántporjelenség; Jobbra: az 1929-es kalocsai komplex halójelenség

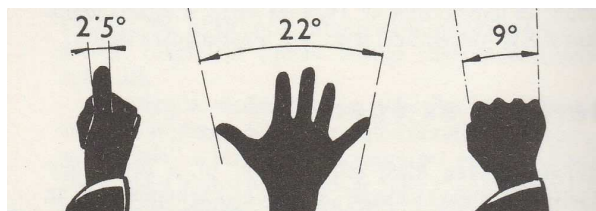
1. 3. 2. A modellkészítéstől a fényképezésig

1. **Modellkészítés** kartonból. A légkörben előforduló jégkristály-alakok kiterített hálóját körzővel, vonalzóval megszerkesztettük, majd megfelelő ráhagyással kivágva meghajtogattuk, illetve összeragasztottuk, összeállítva az aktuális testet.



5. ábra. Jégkristály-modellek

2. **Távolságok mérése az égbolton.** Általában az emberek azt képzelik, hogy az égen ugyanúgy méterben, cm-ben mérhetők a távolságok, mint a Föld felszínén. Például esti csillagászati bemutatókor elhangzó gyakori kérdések: „Mi az ott a Holdtól 5 centire? Milyen messzire látni ezzel a távcsővel?” A probléma kiküszöbölésére tanulóimmal - saját kézfejükét felhasználva - szögtávolságokat becsültettem az égen.



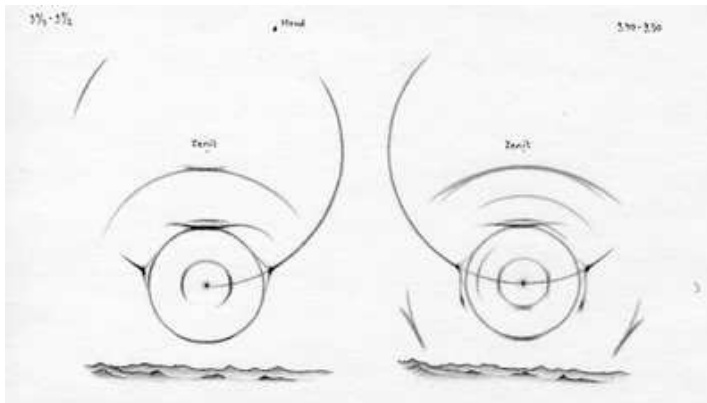
6. ábra. szögtávolságok becslése az égen (J.Klepesta, A. Rükl, 1978)

3. A 22^0 -os haló „megmérése”. Ennek a halógyűrűnek a Naptól vagy a Holdtól való távolsága mindig 22^0 . A szemünk a gyűrű sugarát a horizont feletti különböző magassága miatt hol kisebbnek, hol nagyobbak érzékelheti. Tanulóimmal, nyitott kézfejüket, széttárt ujjakat körzőként használva, megbecsültük a kör sugarát. A becslés elve a következő: ha kinyújtjuk a karunkat és maximálisan szétnyitjuk ujjainkat, akkor a hüvelykujj és a kisujj égi vetülete között megközelítőleg 22^0 a szögtávolság (természetesen ez függ a becslést végző egyén kézfejméretétől). Tehát, ha hüvelykujjunkkal „érintjük” a Napot, a körív a kisujjunk hegyénél lesz, tehát sugara megközelítőleg 22^0 -os.
4. A 46^0 sugarú halógyűrű és a supralaterális ív megkülönböztetése nehéz a gyakorlatban. Néhány támpont azonban segíti a két jelenség elválasztását: a felső oldalív mindig, a 46^0 -os haló viszont sohasem érinti a zenitkörüli ívet. Az eltérés a két jelenség között csupán néhány fok, ezért ilyen jelenség megfigyelésénél célszerű fényképet készíteni, majd azt számítógépen részletesen elemezni (14. ábra). Másik azonosítást segítő jegy lehet bizonyos színek jelenléte. Vörös szín mindkét jelenségben szerepel, azonban a színek másik vége felé haladva a színek inkább az oldalívekben szerepelnek. Tehát, ha jól kivehetően a jelenségben zöld, vagy kék szín látszik, akkor biztos, hogy oldalíveket látunk.
5. **Fotózásuk:** a halók néhány egyszerű formája relatíve gyakran megfigyelhető, azonban a fényképezésük kihívást jelent egy középiskolás számára, mert a fotókat általában a Nappal szemben kell készíteni és célszerű lenne halszemoptika használata is. Mindezen nehézségek ellenére léteznek megszállott halóvadászok az egész világon és diákjaim is nagyon lelkesen fotózták a halókat. A digitális fényképezőgéppel P (programautomatika) módban célszerű készíteni a felvételeket. Ebben a módban a gép az expozíciós időt maga állapítja meg, de az esetlegesen korrigálható. Az expozíció megállapításánál egyéb beállított értékeket (pl. zoom mértéke) is figyelembe vesz. Ez a mód általános fényképezés céljára is használható.
6. **Fotózáskor** fontos, hogy a nagyon erős fényforrások (leginkább a Nap) fényét valahogyan kiszűrjük, hogy a halójelenség kellő kontrasztban tűnjön elő a felvételen. Ezt úgy oldottuk meg, hogy a Napot valamilyen, a látóirányban található, természetes tárggyal kitakartuk (pl. kémény, víztorony gömbje, közlekedési tábla, egy másik ember feje, egy épület részlete stb.). Készítettem már úgy halófotót, hogy nem volt más kéznél, mint egy alma, azt a fényképezőgéptől karnyújtásnyira helyezve éppen kitakarta a Nap korongját.
7. **Fotózáskor** azonban előfordulhat az az eset is, hogy nem áll rendelkezésre természetes kitakaró tárgy és még egy társ sem, aki segíthetne. Erre az esetre készítettünk egy hordozható eszközt, amelyet természetjáró hátizsákunkba helyezve, nem érhet bennünket felkészületlenül egy halójelenség váratlan megjelenése. Hordozható rádióról leszerelt, kihúzható antenna végére szereltünk egy papírkorongot, amely berendezést a földre ülve két behajlított térdünk közé szorítottunk, olyan hosszúságúra kihúzva a teleszkopikus kart, hogy a Napot éppen kitakarja. Ekkor kissé hátradőltesthelyzetben a kérdéses jelenség lefényképezhető. Természetesen másfajta, a fényképezőgéphez rögzített kitakaró korong is megvalósítható lehet.



7. ábra. Saját készítésű „napkitakaró” eszközünk használata

8. A halójelenségek **rajzzal** történő megörökítése. Fényképezési funkcióval rendelkező mobiltelefonok világában nem tűnik túl nagy jelentőséggel bíró módszernek és a szubjektívitás miatti pontatlanság is hibátényezőként jelentkezik. Leginkább a fényképezőgépek megjelenése előtti időkben készültek rajzok (történelmi halójelenségek), illetve a mai világban akkor, ha fényképezési lehetőség nem áll rendelkezésre a jelenség feltűnésekor. Korunkból is ismerünk azonban olyan történetet, amikor komplex halójelenséget fényképezési lehetőség hiányában rajzon örökítettek meg (8. ábra bal oldala).



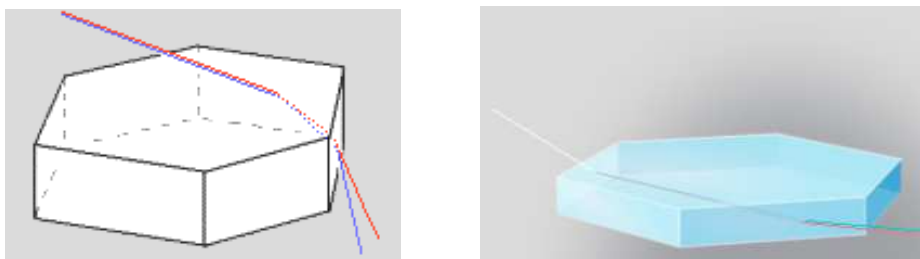
8. ábra Balra: Rajzolt halókomplexum 2006-ból (forrás: *Halo Reports*)
Jobbra: egy diákkörösöm éppen egy égi jelenséget örökít meg rajzon

9. A halójelenségek témával kapcsolatban diákköri tanítási egységet dolgoztam ki, és a gyakorlatban is kipróbáltam. Ebben a tanulók megismerték, hogy hogyan függ kialakuló jégkristályok alakja a magas szintű felhőkben uralkodó fizikai viszonyoktól. Ezáltal termodinamikai ismereteiket ismételttem újra és mélyítettem tovább. Elemeztük, hogy a jégkristályok alakja, száma, orientációja és minősége, felhő homogenitása hogyan befolyásolja a jelenség látványosságát, szabályos, avagy szabálytalan voltát. A tíz órás tematika, melyet a **B) függelékben** mutatok be, az érdeklődés felkeltésére, a gyakoribb jelenségek megértetésére alkalmas, a mélyebb tanulmányozáshoz azonban hosszabb időre lenne szükség.

1. 3. 3. A CZA középiskolai értelmezése

A cikumzenitális ív angol neve circumzenithal arc, ezért röviden CZA-nak nevezik a szakirodalomban. Ennek a konkrét halójelenségnek a példáján keresztül mutatom be azt, hogy egyszerű megfontolásokkal milyen geometriai optikai kérdésköröket tekinthetünk át, milyen egyszerű matematikai összefüggéseket igénylő feladatokat oldhatunk meg a diákokkal.

A circumzenitális ív a tőlünk látható egyik legszebb halójelenség, mindig élénk színekben pompázik, ezért az „égbolt mosolyának” is nevezik. Mint a neve is mutatja, a zenit köré írható körív egy darabja. Azért ezt a halótípust választottam ki részletes elemzés céljára, mert jelenlétét még a témára érzékeny megfigyelők is ritkán veszik észre. Ennek oka az, hogy nagy horizont feletti magasságban keletkezik és még az eget gyakran kémlelő egyének is ritkán néznek fel a fejük fölé. A másik ok az, hogy tanítványaimmal 2014. január 24-én az országos TDK konferenciára utazásunkkor, Debrecenbe, a helyszíntre megérkezvén az „égbolt mosolya” fogadott bennünket (rá egy napra megtudtuk, hogy bekerültünk az országos döntőbe). Pedig a tűnemény nem is annyira ritka, hiszen a második leggyakoribb halójelenséggel, a melléknappal van rokonságban, azzal gyakran egyszerre tűnik fel. Hogy az emberek mégis ritkán veszik észre, ahhoz az a tény is hozzájárul, hogy ha látnak maguk előtt (normál fejtartással előre nézve) egy halójelenséget, akkor azt csodálva, esetlegesen a változását figyelve már nem néznek fel az ég „tetejére”, a zenitbe.



9. ábra. A circumzenitális ívet (balról) és a melléknapot (jobb) előidéző fénymenet összehasonlítása (forrás: *Atmospheric Optics honlap*)

Vízszintes helyzetű lemezkristályok okozzák (9. ábra. bal oldala), azáltal, hogy a fénysugarak a felső lapon belépnek a kristályba, majd kétszeri törés után egy oldallapon át távoznak. A jelenséget 90° -os törőszögű prizmával modellezhetjük. A melléknappal való rokonságának oka az, hogy az előidéző kristályok annál is lapkristályok, csak 60° -os törőszögű prizmával modellezhető módon, két nem szomszédos oldallapon halad át a fény. A légkörben pedig – ha a keletkezésükhöz szükséges fizikai körülmények adottak – gyakran véletlenszerűen helyezkednek el a lapkristályok, egyaránt módot adva a melléknappal és a zenit körüli ív keletkezésére is. (W. Tape, 1994)

1. 3. 4. Számítások a középiskolában

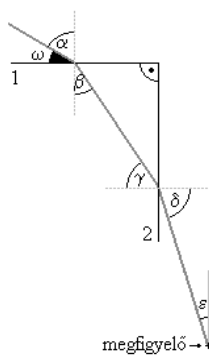
1. kérdéskör: Hogyan jön létre a zenit körüli ív? Mekkora lehet a CZA maximális ívhosszúsága?

A levegőben lebegő kristálylapocskák alapsíkja közel vízszintes, oldallapjaik azonban tetszőleges orientációjúak lehetnek. A 9. ábra bal oldali része a Napból érkező, a kristály fedőlapján behatoló fénysugár törését mutatja. Ha a kristályszemcsét függőleges egyenes

körül megforgatjuk, akkor a kilépő fénysugár is elfordul, a függőlegessel bezárt szöge azonban változatlan marad. Így a sugarak a zenit körüli ív irányából látszanak indulni. Mivel a lebegő kristályszemcsék sokaságában az oldallapok mindenféle irányban állhatnak, a megfigyelő szemébe érkező fénysugarak meghosszabbításában látva a képpontotokat, azok egy köríven helyezkednek el, melynek középpontja a zenit. Nyilvánvaló azonban, hogy a hatszöges szimmetriájú kristály egyetlen lapjának véletlenszerű irányulása miatt a Nap felé néző megfigyelő legfeljebb 120^0 -os körívet észlelhet a zenit körül.

2. kérdéskör: Hogyan függ a napmagasságtól az ívek sugara? Hogyan változik a cirkumzenitális ív zenittől mért szöge?

Mint már említettük a cirkumzenitális ívek a zenit körüli koncentrikus körökön helyezkednek el. Zenittől mért szögtávolságuk (ε) erősen függ a Nap magasságától (ω).



10. ábra. A hexagonális jégkristály fedő- és oldallapja síkjának vetülete

A 10.ábra szerinti két törésre a törési törvény:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad \text{illetve} \quad \frac{\sin \delta}{\sin \gamma} = n$$

Az ábráról leolvasható, hogy

$$\alpha = 90^0 - \omega, \quad \delta = 90^0 - \varepsilon, \quad \beta + \gamma = 90^0$$

Így a törési törvények az

$$\frac{\sin(90^0 - \omega)}{\sin \beta} = \frac{\cos \omega}{\sin \beta} = n, \quad \text{illetve} \quad \frac{\sin(90^0 - \varepsilon)}{\sin(90^0 - \beta)} = \frac{\cos \varepsilon}{\cos \beta} = n \quad \text{alakot öltik.}$$

Átrendezés és négyzetre emelés után adódik, hogy

$$\frac{\cos^2 \omega}{n^2} = \sin^2 \beta, \quad \frac{\cos^2 \varepsilon}{n^2} = \cos^2 \beta$$

amiből a cirkumzenitális ívek zenittől mért szögének a Nap magasságától való függésére

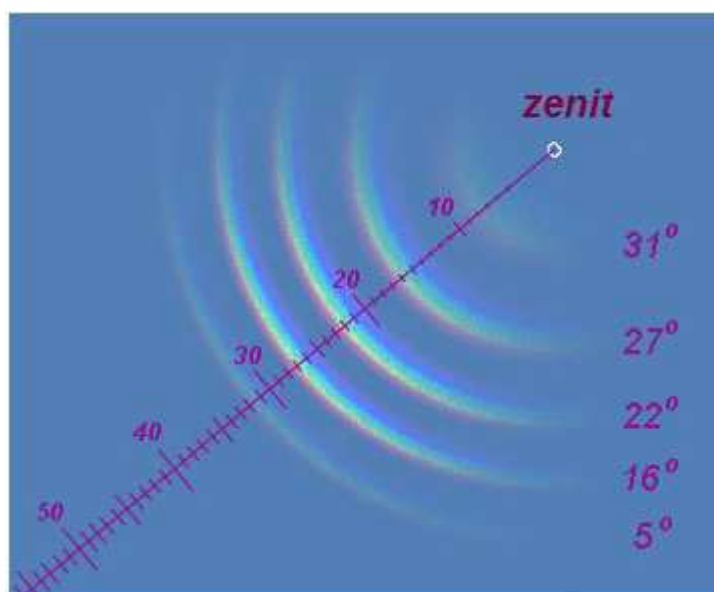
$$\cos \varepsilon = \sqrt{n^2 - \cos^2 \omega} \quad \text{adódik.}$$

Megjegyezzük, hogy a diszperzió miatt a cirkumzenitális ívek színesek és erősen

emlékeztetnek a szivárványra. Ívük azonban éppen a szivárvánnyal ellentétesen görbül, ezért a cirkumzenitális íveket mutató fényképfelvételek készítőit gyakran azzal gyanúsítják, hogy trükkfelvételt készítettek.

3. kérdéskör: Van-e olyan napmagasság, amikor nem jöhet létre a jelenség?

Az alábbi ábra a különböző napmagasságok esetén megfigyelhető zenitkörüli íveket mutatja be a következő konkrét értékeknél: 5° , 16° , 22° , 27° és 31° .



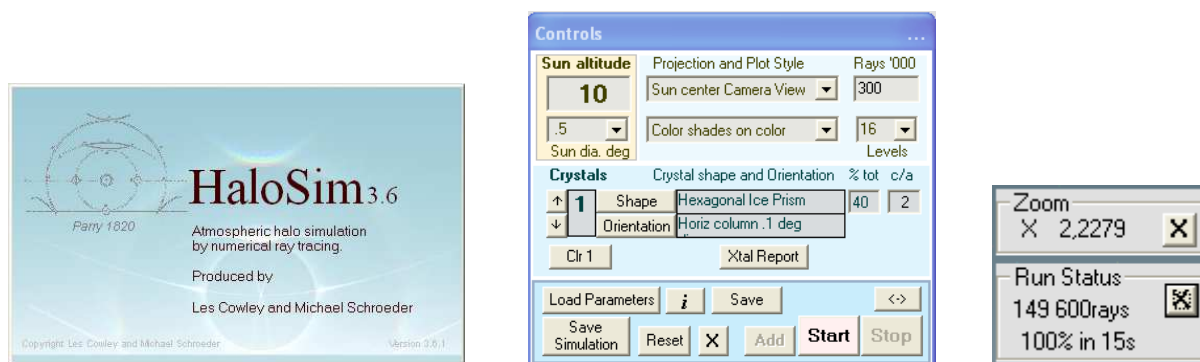
11. ábra. A cirkumzenitális ív függése a napmagasságtól (forrás: Atmospheric Optics honlap)

Már a 31° -os magasságnál is nagyon halvány, elmosódott az ív, de 32° -nál nagyobb napmagasságnál nem is jöhet létre a cirkumzenitális ív.

A bizonyításához tekintsük ismét a 10. ábrát, amely olyan sugármenetet ábrázol, amelyben a fénytörés síkja és a törőfelület egymásra merőleges. A vízszintes helyzetű jégkristály felső lapjához érkező fénysugár megtörik, majd az egyik oldallapon ismét megtörve kilép a kristályból. Ahhoz, hogy a fénysugár a kristály oldallapján át kiléphessen, a γ szögnek kisebbnek kell lennie a jég-levegő határszögnél. (A határszög $n=1,31$ törésmutatóval számolva $49^\circ 46'$). Emiatt a β szög minimális értéke: $90^\circ - 49^\circ 46'$, vagyis $40^\circ 14'$. Ebből azt kapjuk, hogy a fedőlapon a beesés α szöge nem lehet kisebb, mint $57^\circ 48'$. Ez akkor következik be, ha a fénysugarak a vízszintessel $\omega = 32^\circ 12'$ -nél kisebb szöget zárnak be. Így ha a Nap magassága $32^\circ 12'$ -nél nagyobb, akkor cirkumzenitális ív nem keletkezhet. (Sári Péter ötlete alapján)

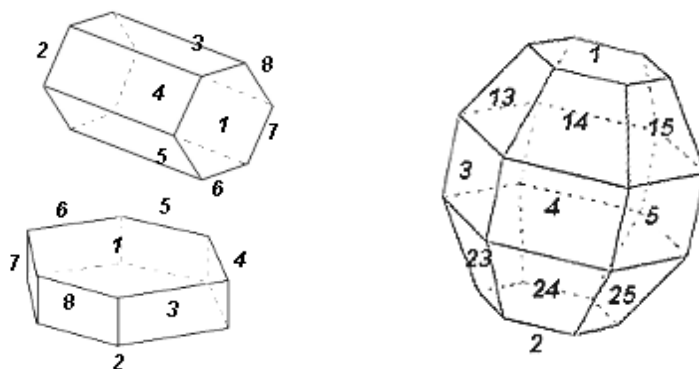
1. 3. 5. Szimulációk

Nagyon jól kapcsolható a megfigyelőmunkához egy szimulációs programcsomag, amely az interneten elérhető, a <http://www.atoptics.co.uk/halo/> címen. A HaloSim3.6 (létrehozói: Les Cowley és Michael Schroeder) szoftver kiszámolja és ábrázolja a különböző jégkristályok és fénymenetek alapján képződő halójelenségeket a képernyőn, így az összehasonlíthatóvá válik az égbolton látottakkal, és fordítva, az égbolton látottakat előidézve a képernyőn megtudhatjuk azt, hogy milyen fajta jégkristályok vannak éppen a légkörben.



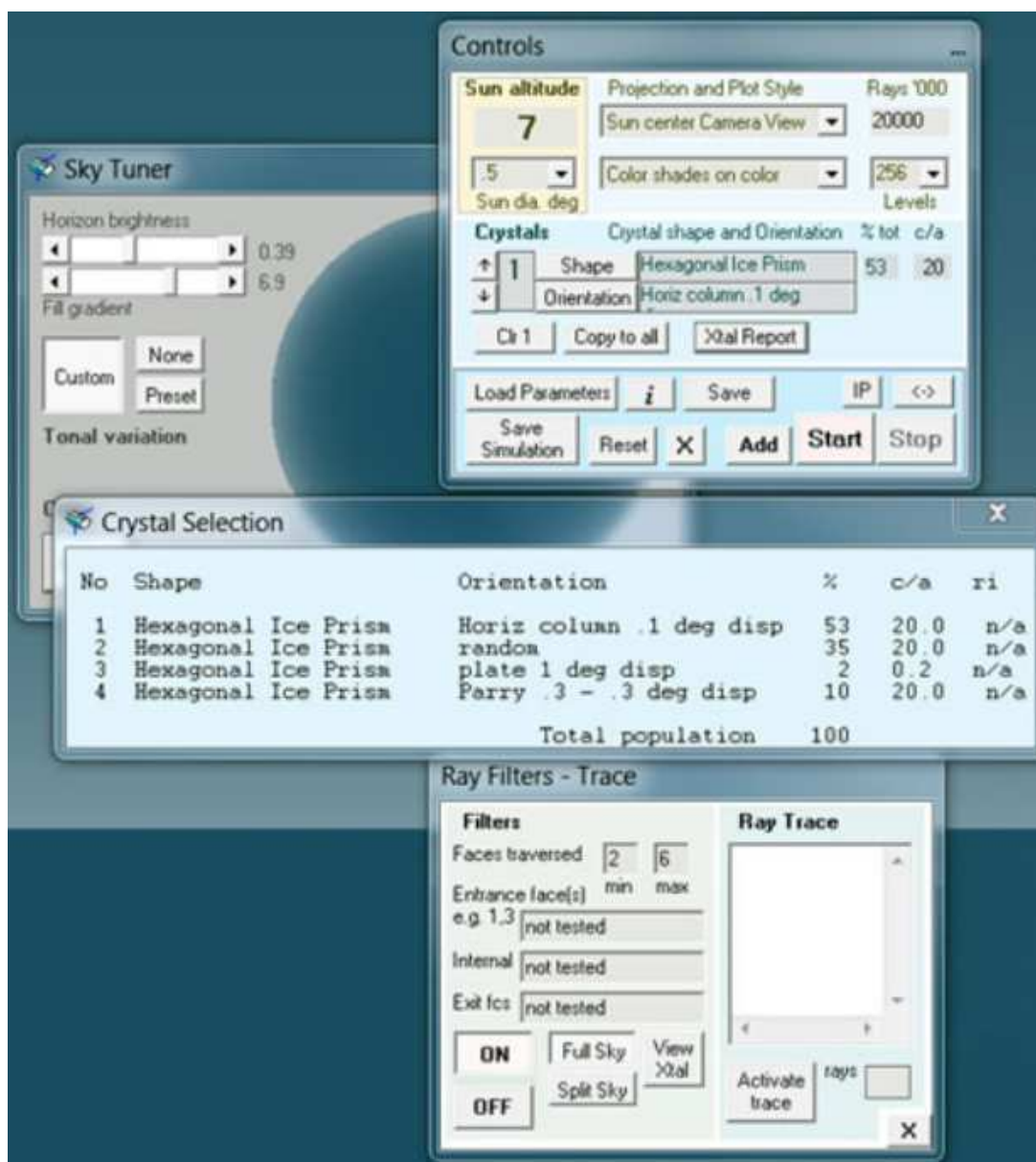
12. ábra. A Halosim3.6 program címoldala és fő kezelő paneljei

A program a megadott kristályokon keresztüli sugármeneteket vizsgálja úgy, hogy a megfigyelőhöz érkező fénysugarak és az éggömb metszéspontját megrajzolja a képernyőn, miközben jégkristályokkal egyenletesen telehintett légkört feltételez. A kristályok mérete, alakja, orientációja és a Nap horizont feletti magassága változtatható. A kristályokat lapok számával és a lapok normálvektoraival adja meg.



13. ábra. A hexagonális (balra) és a piramidális (jobbra) kristályok lapjainak számozási rendszere

A program használatakor megadhatjuk, hogy legalább és legfeljebb hány oldalt érintsenek a fénysugarak az áthaladás során. Az is megadható, hogy melyik lapon lépjen be, melyik lapon lépjen ki és mely lapon verődjön vissza a kristály belsejében a fénysugár. A képernyőn ábrázolt égbolt lehet teljes és megosztott. A teljes azt jelenti, hogy egyöntetű a kép, a megosztott pedig azt, hogy a kép egyik fele olyan, mint a teljesnél, a másik fele bizonyos sugarak kiszűrésével készült.



14. ábra. Egy komplex halójelenség (Parry-ív és érintő ív) szimulálásához szükséges beállítások (példa)

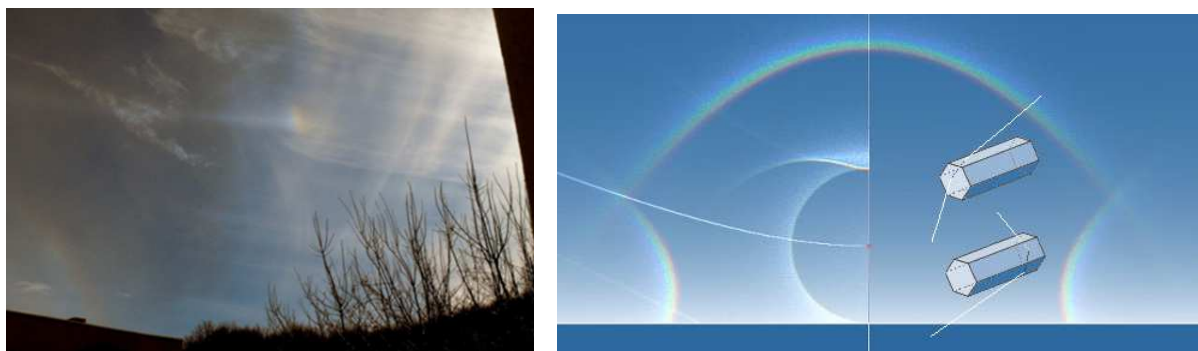
Fényképfelvételek és szimulációik

Komplex halójelenség és szimulációja



14. ábra. Finnország, Gyémántporjelenség; a felvételen és a hozzá tartozó szimuláción jól elkülönül a felső oldalív és a 46 fokos halógyűrű (*Forrás: Halo Reports*)

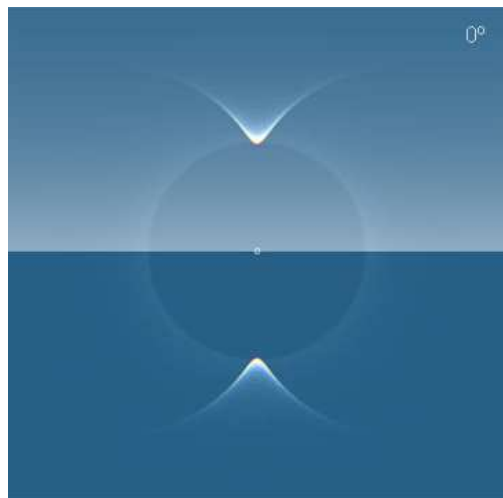
Bal oldali melléknap és a bal oldali alsó oldalív



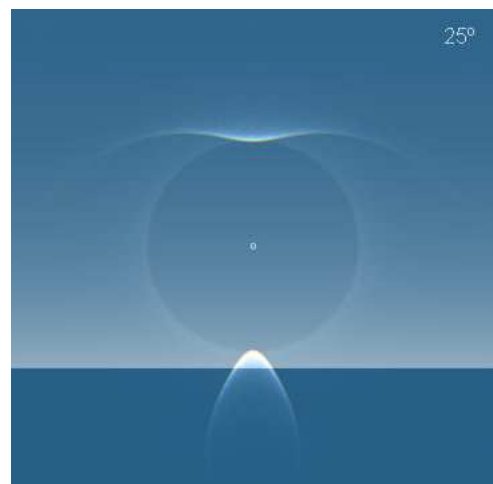
16. ábra. Fotó: Visontai Flóra, tanuló; szimuláció: atmospheric optics honlap

Az interneten megtekintett „kész” szimulációk után, magunk is nekiláttunk a fotókon látható képek szimulációval való előállításának.

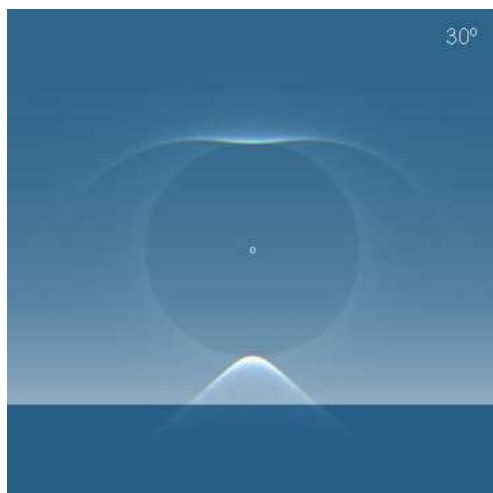
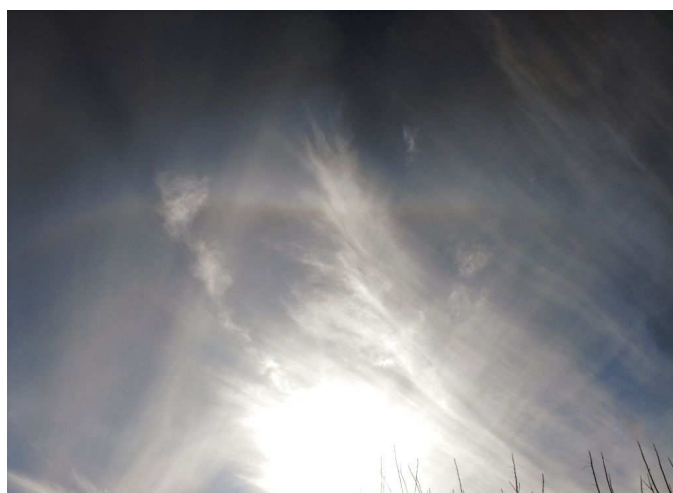
Felső érintő ívek



17. ábra. Fotó: Visontai Flóra, tanuló; szimuláció: diákkör

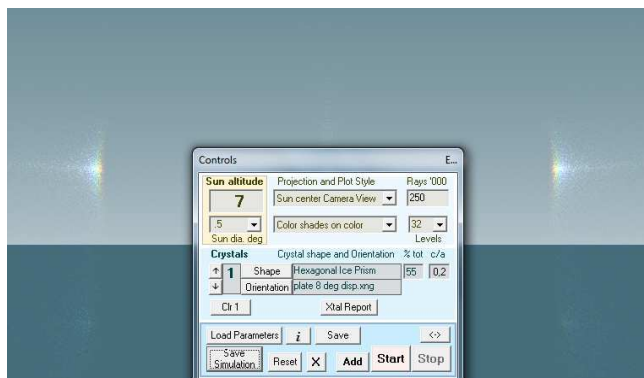


18. ábra. Fotó: Visontai Flóra, tanuló; szimuláció: diákkör



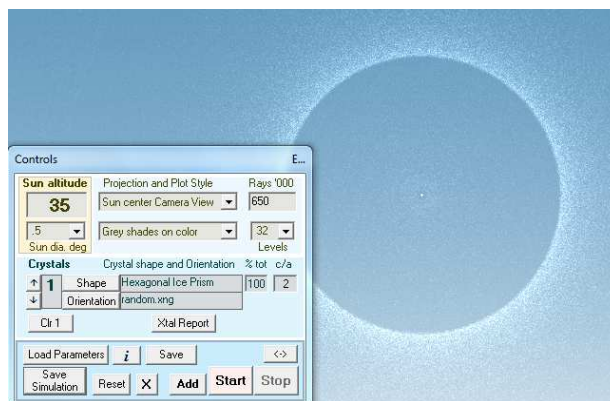
19. ábra. Fotó: Visontai Flóra, tanuló; szimuláció: diákkör

Melléknap



20. ábra. Fotó: Döményné Ságodi Ibolya, szimuláció: diákkör

22 fokos halógyűrű



21. ábra. Fotó: Visontai Flóra, tanuló; szimuláció: diákkör



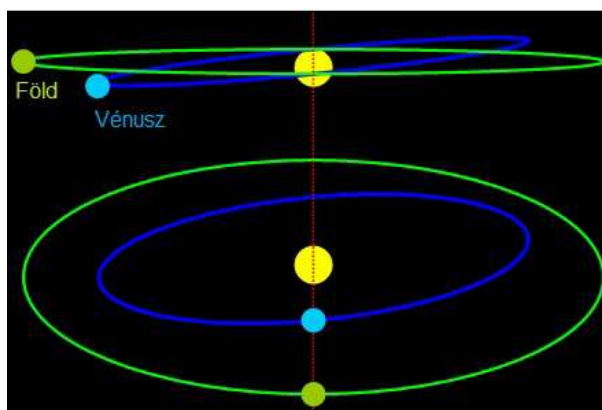
22. ábra. Halójelenségek szimulációja szakkörön

2. A Vénusz-átvonulás [6]

Korábbi tapasztalataim szerint a csillagászati megfigyelések komoly motivációs hatással bírnak a fizika tanításában. Többféle jelenség kisebb diákcsoporttal történő szakköri feldolgozását és megfigyelését végeztük el (hold- és napfogyatkozások, egy visszatérő nóva váratlan kitörése, a naptevékenység változása/periodicitása, szimultán tűzgömb megfigyeléséből levonható következtetések, pályájukon nyomon követhető aszteroidák, várt és váratlan üstökösök és 2012-ben a Vénusz átvonulás megfigyelése). Ebben az évszázadban, hazánkban két Vénusz átvonulást is megfigyelhettek az érdeklődők. A teljes jelenség a Vénusz Nap elé történő belépésétől a kilépéséig 2004-ben volt nyomon követhető, míg 2012-ben részleges átvonulás, csak a jelenség utolsó harmada volt látható. A furcsa periodicitás miatt csak kevés ember csodálhatja meg a jelenséget, ugyanis a 8 évenként bekövetkező ikerátvonulás után több mint 100 évet kell várni az újabb jelenségpár bekövetkezésére. Tanítványaim életkoruknál fogva csak az utóbbit láthatták, hiszen 2004-ben még kisgyermekek voltak, a mostanában született gyermekek pedig életük folyamán egyet sem fognak látni. A távcső feltalálása óta, az emberiség mindössze a nyolcadik alkalommal figyelhette meg a jelenséget. Tudományos jelentőségét korábban az adta, hogy távoli helyszíneken mért kontaktus-adatok segítségével meghatározható volt a Föld - Nap távolság. Az alábbiakban részletesen bemutatom a 2012. június 6-i Vénusz átvonulás tanulmányozására való felkészülést és a jelenség diákköri csoportommal történő megfigyelését.

2. 1. Szakirodalmi áttekintés

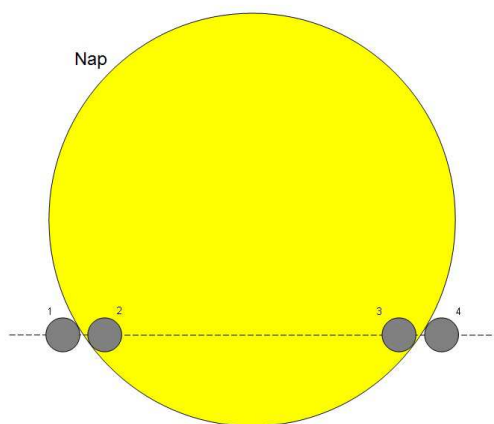
Az erősen eltérő méretű, egymás körüli pályán keringő égitestek esetén bekövetkezhet, hogy a kisebb égitest áthalad a nagyobb előtt, amely jelenséget átvonulásnak nevezzük. A Nap és egy bolygó esetén az átvonulás létrejöttéhez két feltétel szükséges: a bolygó belső együttállásban legyen (ekkor a bolygó a Napot és Földet összekötő egyenes mentén fekszik) és emellett még közel is essék a csomóvonalhoz (ez a vonal azon pontok összekötéséből jön létre, ahol a bolygó pályája metszi az ekliptika síkját). Mivel a fenti feltételek ritkán teljesülnek, a bolygóátvonulás különleges égi jelenség.



1. ábra. A Föld és a Vénusz pályája (forrás:internet)

Edmond Halley már 1716-ban kifejtette, hogy ha a Föld egymástól távoli pontjairól figyeljük meg a Vénusz átvonulását a Nap előtt, akkor az átvonulási húrok látszólagos eltolódásából a Föld - Nap távolság (a Csillagászati Egység) kiszámítható. A Föld különböző helyein feljegyezve a bolygó belépésének időpontját a napkorong elé, illetve kilépésének időpontját a napkorong elöl, az időadatokból és a mérési pontok távolságából a parallaxis

elméletét felhasználva, meghatározhatjuk a Föld - Nap távolságot. A csillagászati egységet alapegységnek tekintve meghatározható a Naprendszer más objektumainak, illetve a közelebbi csillagoknak a Földtől vett távolsága is. Ezután természetesen a naprendszerbeli égitestek és a közeli csillagok egymástól mért távolsága is meghatározható. A mérés elvégzéséhez szükség van a megfigyelők pontos földrajzi koordinátaira, mivel az átvonulás eltérő földrajzi helyekről másképp látszik. Ezen kívül feljegyzendő még a négy nevezetes kontaktus (amikor egy bolygó korongja kívülről vagy belülről éppen érinti a napkorong határát), bekövetkezésének minél pontosabb időpontja (2. ábra).



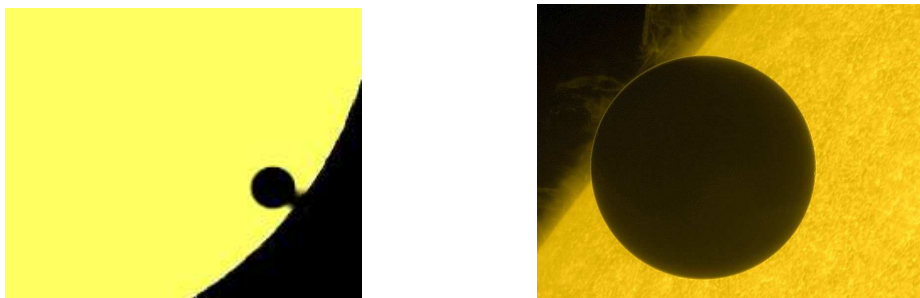
2. ábra. A négy kontaktus (forrás: internet)

2. 1. 1. Történeti háttér

Az idők folyamán egyetlen csillagászati esemény kapcsán sem indítottak annyi expedíciót, mint a Vénusz átvonulások megfigyelésére, hiszen a jelenség egy-egy földrajzi helyről gyakran csak részlegesen figyelhető meg, a pontos számítások miatt pedig lényeges, hogy a jelenség az elejétől a végéig nyomon követhető legyen.

A Vénusz átvonulások aránylag ritkák, az egymást követő átvonulások közötti időtartamok sora a következő: ... 8 év – 121,5 év – 8 év – 105,5 év – 8 év ... Ha a két egymást követő átvonulás között 8 év telik el, ikerátvonulásról beszélünk. A távcső megalkotása óta az első két átvonulás 1631-ben és 1639-ben történt, amikor még a távcsövek minősége és az égimechanikai számítások is kezdetlegesebb szinten voltak, mint jó száz évvel később az 1761-ben és 1769-ben bekövetkező ikerátvonulás idején.

Az 1761-es átvonulás keserves csalódást okozott, mert nagyon tág határok között mozgott az észlelési adatokból számolt parallaxis értéke: 8,5'' – 10,5''. A parallaxis bizonytalanságát az okozta, hogy abban az időben sem a Vénusz pályáját, sem a megfigyelési helyek földrajzi koordinátáit nem ismerték kellő pontossággal, és a megfigyeléseknél más nem várt hibák is jelentkeztek. Egyik legsúlyosabb problémát a fekete csepp jelenség okozta. (3. ábra) Ez a tünemény akkor lép fel, amikor a Vénusz korongja belülről érinti a Nap korongját. Ilyenkor a napperem és a Vénusz között rövid, fekete híd jelenik meg, ami megnehezíti a kontaktusok pillanatának pontos megállapítását. További hibaforrás vált azonosíthatóvá a Vénusz légkörének felfedezésével. A légkör a bolygókorongot övező fénylő gyűrű alakjában jelent meg, és ez nehezítette az időpontok pontos megállapítását. Ezt nevezték el fehér kör jelenségnek, mely csak nagyobb távcsövekkel látható (3. ábra).



3. ábra. Balra: A fekete csepp jelenség; Jobbra: a fehér kör jelenség (forrás: internet)

Ezek után nagy érdeklődés előzte meg az 1769-es átvonulást. A csillagászok már idejekorán előre jelezték az átvonulás lefolyását. Hell Miksa, a bécsi egyetemi obszervatórium igazgatója azonban az 1761-es adatok alapján újraszámolta az 1769-es átvonulás időpontjait. Erről szóló tanulmánya, amelyben részletesen leírta az jelenséggel kapcsolatos tudnivalókat és teendőket, az általa szerkesztett 1764. évi Csillagászati Almanachban jelent meg. A cikk nagy érdeklődést váltott ki szakmai körökben, ennek alapján hívta meg Hell Miksát a dán uralkodó a vardöi expedíció élére. Kivételes szerencsével meg tudták figyelni a jelenséget. De sikerrel járt a Hudson-öbölnél, Kaliforniában és Tahiti szigetén (Cook kapitány által vezetett) expedíció is. Ez utóbbi méréseket egybevetve számította ki Hell Miksa a napparallaxis szögét, $8,7''$. Erről írt tanulmánya, amely 1772-ben jelent meg Bécsben, nagy vitákat kavart.

A XIX. század két átvonulásának megfigyelésére újabb eszközök alkalmazása vált lehetővé: a távcsövek általános optikai teljesítményének javulása mellett megjelent a fényképezés módszere. A korszerűbb eszközök alkalmazása mellett célul tűzték ki a napparallaxis ezrelék pontossággal való meghatározását. Az 1874-es német expedíciók egyikén (Kerguelen-szigetek) a magyar Weinek László vezette a fotográfiai csoportot. Sikerült a teljes átvonulást megfigyelni, összesen 61 lemezfelvétel készült, ami abban a korban nagy technikai teljesítménynek számított. A felvételek kiértékelésének tanulsága mégis az volt, hogy a fényképezés alkalmazása sem tette pontosabbá a parallaxis értékét. 1881 októberében nemzetközi konferencián vitatták meg a következő átvonulással kapcsolatos kérdéseket és egységes észlelési normákat dolgoztak ki. Mégis, 1882-ben kevesebb expedíciót indítottak az átvonulás megfigyelésére, mert az előző átvonulás bizonytalan eredményei megrendítették a bizalmat az alkalmazott módszerek hatékonyságában.

A mostani ikerátvonulások első eseménye 2004. június 8-án történt. Akkor a jelenség teljes egészében megfigyelhető volt, a belépéstől a kilépésig. Magyarországon komoly szervezettséggel, sok eredményes megfigyelés történt, amelyet a derült idő is elősegített. Az észlelt adatokból meghatározták a csillagászati egységet is, bár az űrtechnika korában ennek már nem tudományos, hanem inkább tudománytörténeti és pedagógiai értéke volt. A mostani átvonulásnak az utolsó kétórányi része esett napfelkelte utánra, így tanulóimmal csak ezt a részletet figyelhettük meg. Ők a 2004-es átvonuláskor még kisgyermekek voltak, így azt nem láthatták.

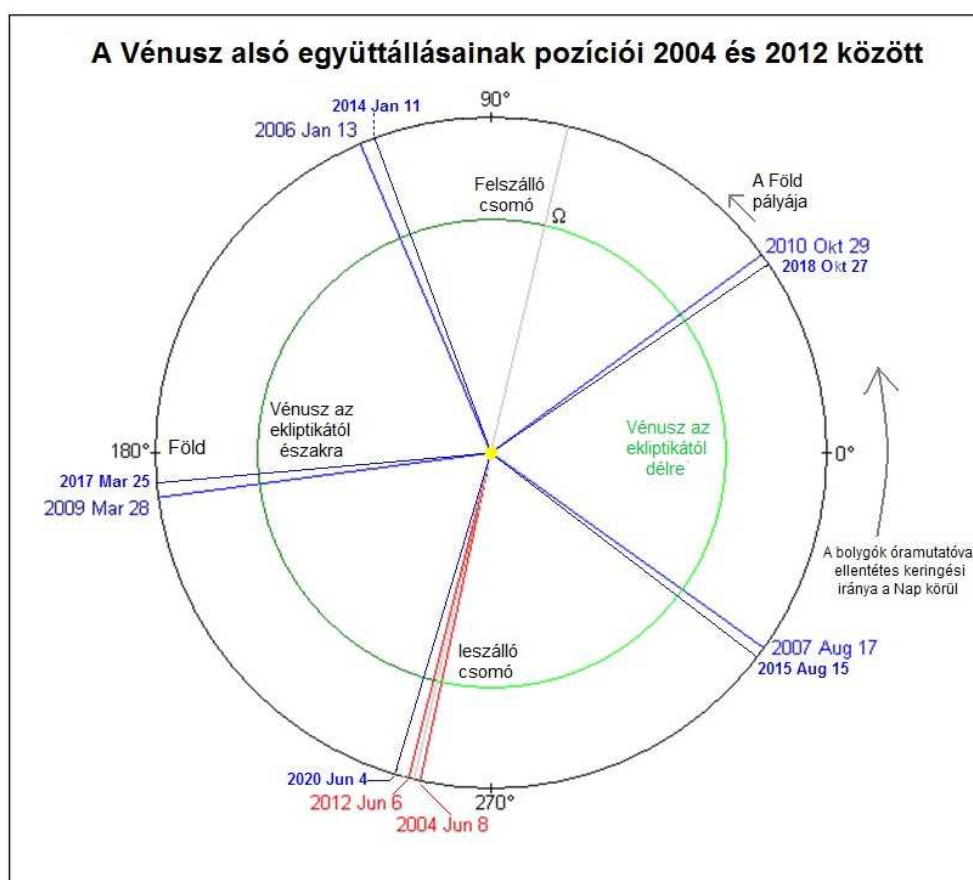
2. 2. Számítások és megfigyelés

2. 2. 1. Az átvonulás periodicitása

A Vénusz átvonulás megfigyelése, az átvonulás furcsa, nem egyenletes időközönkénti bekövetkezése mindig felkelti a tanulók érdeklődését és alkalmat ad arra, hogy néhány csillagászati tényt elmondjunk és egyszerű geometriával, ha közelítőleg is, de értelmezzük az

átvonulás periodicitását. A gondolatmenet a www.rasnz.org.nz honlapon található követi. A következőkben ilyen egyszerű magyarázatra mutatunk példát. A leírásban igyekszünk minél kevesebb csillagászati szakkifejezést használni, mert a túlságosan sok új fogalom nehezítheti a megértést.

A Vénusz és a Föld is a Nap körül kering, mindkét bolygó pályája körnek tekinthető. A Vénusz átvonulás jelensége azért következhet be, mert a Vénusz pályasugara kisebb, mint a Földé. A Vénusz Nap körüli keringésének ideje 224,6987 nap, a Földé 365,25 nap. Tudjuk továbbá, hogy a Vénusz pályasíkja 3,4 fokos szöget zár be a Föld pályasíkjával, az ekliptikával (1. ábra). Mivel az átvonulás csak akkor következik be és figyelhető meg, ha a Föld, a Vénusz és a Nap jó közelítéssel egy egyenesbe esik, a pályasíkok dőlése miatt ez az egyenes csak a pályasíkok metszésvonala lehet. A jelenség időbeli lefolyásának megértéséhez vetítsük le a Vénusz pályasíkját az ekliptikára, azaz tekintsük úgy, mintha a két bolygó azonos síkban keringene.



4. ábra. A tranzitok periodicitása. (forrás: internet)

Kezdjük az időmérést egy valódi átvonulási helyzettől! A Vénusz és a Föld Nap körüli keringési idejét egybevetve megállapítható, hogy jó közelítéssel 1,6 földi év elteltével a Vénusz éppen eggyel többször, azaz 2,6-szor kerüli meg a Napot, vagyis az azonos síkú pályákon mozgó bolygók esetén újabb átvonulás következne be. Ezután az átvonulások 1,6 évenként követhetnék egymást és nyolc év után újra a kiinduló helyzet ismétlődne. Eközben a Vénusz éppen tizenháromszor - azaz 5-tel többször, mint a Föld - kerülné meg a Napot. A 4. ábra ezeket a helyzeteket, és a következő nyolc évben bekövetkező együttállásokat mutatja a 2004-2012 és 2012-2020 időszak megfelelő dátumainak bejelölésével. Látható, hogy a nyolc évenkénti ismétlődés csak közelítőleg teljesül. Ez érthető, hiszen az 1,6 évenkénti

együttállás is csak igen jó közelítés és a 8 földi év is 22 órával hosszabb, mint a 13 Vénusz év. A 22 órányi eltérés azonban még éppen olyan helyzetet eredményez, hogy a Vénusz a napkorong előtt halad el. Újabb nyolc év múlva azonban a Földről nézve a Vénusz már a napkorong felett halad el. A mozgás geometriájának elképzelése nehéz feladat elé állít bennünket és a diákokat is. Sokat segít, ha a magyarázat mellett a mozgás szimulációjának bemutatásával is segítjük a tanulókat. Az interneten található kitűnő szimulációk egyike a www.venus2012.de weblapon található.

A továbbiakban az együttállások a vetületi képen a bolygók keringési irányával ellentétes irányban tolódnak el, és 105,5 év elteltével a Föld, Vénusz Nap égitest hármas ismét jó közelítéssel a Vénusz és a Föld pályasíkjának metszéspontjába kerül, s a Vénusz átvonulása észlelhetővé válik, a nyolc évvel később bekövetkező átvonulással együtt. Ez azonban éppen a földpálya ellentétes oldalán következik be. Hasonló érvelést alkalmazva adódik, hogy újabb 121,5 év múlva valóban megismétlődik a kiinduló átvonulásnak megfelelő helyzet.

2. 2. 2. A csillagászati egység meghatározása

Áttanulmányoztam több olyan módszert is, amely a csillagászati egység kiszámolását célozza meg a Vénusz átvonulás segítségével. A témával foglalkozók előtt jól ismert a Delisle és a Halley módszer. A Delisle-féle módszer alkalmazásához szükséges két távoli, észak-déli eltolódású földrajzi helyen végzett valamelyik kontaktus (lehet az első, a második, a harmadik, vagy a negyedik is) időpontjának világidőben (UT) történő megállapítása. Természetesen csak azonos kontaktusok vehetők figyelembe a számításnál. A Halley-féle módszer alkalmazásához szükséges két távoli, észak-déli eltolódású földrajzi helyen végzett vagy 1-es és 4-es, vagy 2-es és 3-as kontaktuspár időpontjainak világidőben (UT) történő megadása. A 2004-es Vénusz átvonulás alkalmából az ELTE Csillagászati Tanszékének kutatói is készítettek egy algoritmust a Nap horizontális parallaxisának közelítő módszerrel történő meghatározásához.

Az alábbiakban bemutatott levezetés a legegyszerűbb az összes módszer közül a Vénusz észlelése alapján történő Csillagászati Egység számításra. A gondolatmenet a ftp://fenyi.sci.klte.hu honlapon található követi. Célunk az volt, hogy a diákok megértsék az alapgondolatot. Több egyszerűsítést teszünk, hogy a szükséges háttértudás minimális lehessen. A jelen változat nem használ trigonometriát vagy a parallaxisfogalmat. A diákok csak a kör átmérőjének fogalmát, matematikai arányosságokat, hasonlóságot és Kepler harmadik törvényét használják, tehát akár a 9-10. évfolyamos diákok számára is megérthető a levezetés.

Összefüggés a Csillagászati Egység és a Nap átmérője között

A Nap a Föld körüli látszólagos mozgása során, a sugarú kört ír le, ahol a a Föld-Nap távolság (Csillagászati Egység). A Nap szögátmérője kb. 0,5 fok (melyet a diákok könnyen megmérnek), a Nap által leírt teljes kör pedig 360 fok. A Nap valódi átmérőjét D -vel jelölve felírhatjuk a következő arányosságot:

$$\frac{D}{0,5} = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{360}$$

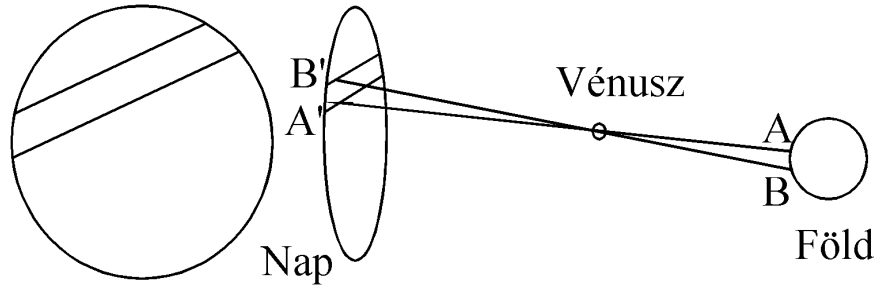
és az a Csillagászati Egység úgy kapható meg, ha ismerjük a Nap D valódi átmérőjét. Mivel

$$a = \frac{360 \cdot D}{\pi} \quad , \quad (1)$$

ezért szükségünk van arra, hogy a Vénusz átvonulásából meghatározzuk a D napátmérőt.

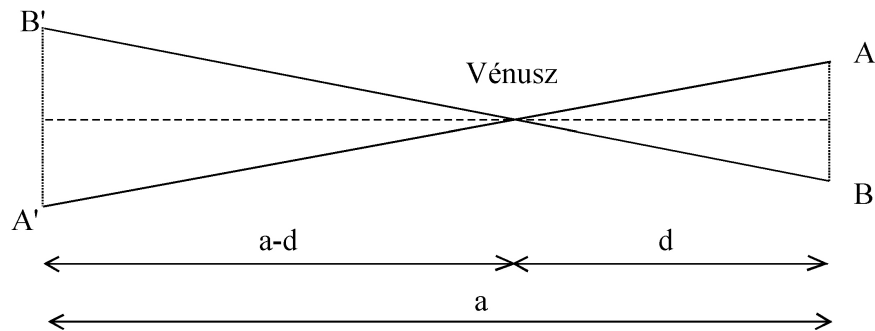
Valódi távolságok számítása a napfelszínen

Meg kell vizsgálnunk a Föld, a Nap és a Vénusz helyzetét az átvonulás alatt:



5. ábra. A Vénusz átvonulás sematikus képe (ftp://fenyi.sci.klte.hu)

Feltételezzük, hogy a Vénusz átvonulásának megfigyelése a Föld felszínének két különböző, A és B pontjáról történik. Hogy leegyszerűsítsük a számításokat, feltételezzük továbbá, hogy A és B ugyanazon a meridiánon helyezkednek el (meridiánoknak nevezzük a földrajzi pólusokat összekötő gömbi főköröket).



6. ábra. A sematikus kép kiemelt részlete (ftp://fenyi.sci.klte.hu)

Tekintsük az 6. ábra két háromszögét: az ABV és $A'B'V$ háromszögek hasonlóak, így felírhatjuk a következő arányosságot:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{a-d}{d}, \quad (2)$$

Az $(a-d)/d$ értékét Kepler harmadik törvényéből számíthatjuk

$$\frac{(a-d)^3}{a^3} = \frac{T_V^2}{T_E^2},$$

ahol T_V és T_E rendre a Vénusz és a Föld keringési ideje:

$T_V = 224,7$ nap és $T_E = 365,25$ nap.

Ily módon

$$\frac{(a-d)^3}{a^3} = \frac{224,7^2}{365,25^2}$$

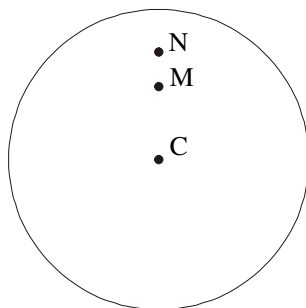
és ebből:
$$\frac{a-d}{d} = 2,61.$$

Behelyettesítve ezt az értéket az előző (2) összefüggésbe:

$$A'B' = 2,61AB, \quad (3)$$

ahol az AB a földfelszíni A és B pontok távolsága, ismert. Így a Nap felszínén lévő A' és B' pontok távolsága megadható.

A Nap valódi átmérőjének kiszámítása



7. ábra. Az észlelés helyszínein készült fotók/rajzok egyesítése ([ftp://fenyi.sci.klte.hu](http://fenyi.sci.klte.hu))

Felhasználjuk azokat az észleléseket, melyeket két különböző helyszínen végeztünk. Egyesített rajzon (8. ábra) megjelöljük az M és N pontokat, melyek a Vénusz pozícióját jelzik a földi A és B pontból nézve. Ezután az ábráról lemérjük a Nap Δ átmérőjét (mely a valóságban D -nek felel meg) és az MN távolságot (mely a valóságban $A'B'$). Felírhatjuk a következő arányt:

$$\frac{A'B'}{MN} = \frac{D}{\Delta}$$

(Figyeljünk arra, hogy $A'B'$ és D a valódi értékek, a rajzról nyert értékek pedig MN és Δ). Ebből az összefüggésből kiszámíthatjuk a Nap valódi átmérőjét. Meghatározzuk a képről MN -t és Δ -t, aztán a (3)-ba helyettesítve:

$$D = \frac{2,61 \cdot AB \cdot \Delta}{MN}.$$

Végző formula a Csillagászati Egység meghatározására

Behelyettesítve a D értékét az (1) kifejezésbe, most már meghatározhatjuk az a -t, a Nap-Föld távolságot:

$$a = \frac{939,6 \cdot AB \cdot \Delta}{\pi \cdot MN},$$

felhasználva MN -t, és Δ -t a rajzról és a valódi AB távolságot a két észlelőhely között. Megjegyezzük, hogy AB nem a Föld felszínén mért távolság, hanem egy egyenes vonal azon a korongon, mely a Földnek a Nap-Föld irányra merőleges metszete, amint az 5. és 6. ábrán látható.

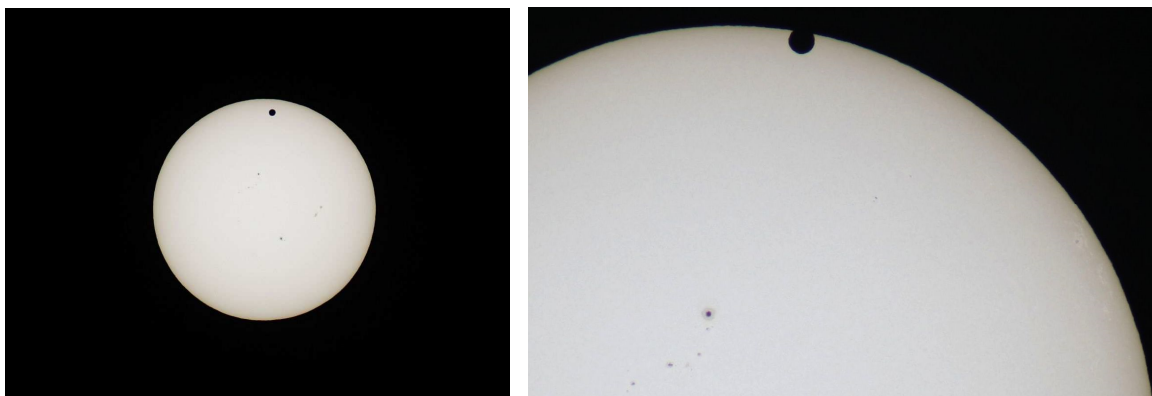
2. 2. 3. Megfigyelés Szekszárdról

A tanulók kiselőadás formájában ismertették meg egymással a távcső felfedezése óta lezajlott hét Vénusz-átvonulást. Ezután a parallaxis, ill. a Nap-Föld távolság számítási módszerei kerültek bemutatásra tanári segítséggel, a szakirodalom alapján.



8. ábra. A megfigyelés-mérés helyszíne a négy távcsővel

Az alapos elméleti felkészülés után megszerveztem a gyakorlati munkát. Megkerestem azt a helyszínt, ahonnan a keleti horizontot zavartalanul megfigyelhetjük, és közzétettem a Magyar Csillagászati Egyesület honlapján. (Voltak olyan érdeklődők, aki jelezték, hogy az interneten keresztül szereztek tudomást a szekszárdi megfigyelési lehetőségről). Plakátokat terveztünk, amelyeket Szekszárd város általános- és középiskolaiban helyeztek el lelkes diákjaim. Megterveztem a tudományos munkát és a bemutatót segítő eszközök rendszerét: négy csillagászati távcső (8. ábra), lyukkamera és sok-sok napfogyatkozás néző szemüveg. Egy Fraunhofer-féle, 12,7 cm átmérőjű lencsés távcső a fotográfia célját szolgálta, arra állandóra rá volt szerelve a Canon EOS 1000D kamera. A vizuális megfigyeléskor a Nap fényét biztonságosan csökkenteni kell, amelyet kétféle módon oldottam meg. Egy 12,7 cm tükrőátmérőjű, Makszutov-Cassegrain rendszerű tükrös távcső Nap felőli végére gyári készítésű Baader-fémfóliát helyeztünk. Ennek hátránya, hogy egy kissé rontja a látott kép kontrasztját. Mivel a Napon akkor jó néhány napfolt is megfigyelhető volt, ezért szerettem volna, ha a tanítványaim és az érdeklődők az optikai eszköz adta jó rajzolatú képet a teljes pompájában szemlélhetik. 8 cm átmérőjű lencsés távcsövünknel ezért a fénycsökkentést Herschel-prizma és kontinuumszűrő alkalmazásával oldottam meg. A Herschel-prizma alkalmazásának lényege, hogy optikai elemek segítségével a fénykéve nagy részét a fő fényútból oldalra kicsatolja, ezáltal biztonságosan szemlélhetjük az adott képet. A kontinuumszűrő csak a folytonos színek zöldessárga részét engedi át, amelyre szemünk a legérzékenyebb, ezáltal javul a kontraszt, csökken a szcintilláció, ezt úgy érzékelhetjük, hogy a kép „kisimul”, a napkorongot pedig zöldes árnyalatúnak látjuk. Az eddig bemutatott távcsövekkel a Nap fotoszféráján tudtuk nyomon követni a jelenséget. Negyedikként alkalmazott távcsövünk egy Lunt gyártmányú, 3,5 cm lencseátmérőjű naptávcső, mely a hidrogén alfa vonalának hullámhosszán engedi át a fényt, ezáltal a Nap kromoszférájára vetülve láthattuk a Vénusz képét. Megszerveztük a távcsövek és a megfigyelést segítő további eszközök helyszínre szállítását, majd a fagyos hajnalon elvégeztük az észlelési munkát.



9. ábra. Balra: A Vénusz a Nap előtt; Jobbra: A Vénusz kilépése a napkorong elől

Az átvonulásról készült felvételeket egy 127/1200 refraktor primer fókuszában Canon EOS 1000D fényképezőgéppel készítettük, 1/1000 és 1/2000 közötti expozíciós idővel.



10. ábra. Balra: A megfigyelő diákok; Jobbra: az érdeklődők csoportja

Összefoglalás

Delisle és a Halley számítási módszerei komoly matematikai, égi mechanikai és szférikus csillagászati előismereteket feltételeznek, ezért ezek tárgyalását a legalább tizenegyedik, de leginkább a tizenkettedik évfolyamosok számára ajánljuk, a fentebb részletesen ismertetett egyszerűsített módszer kivétel, mert az már a kilencedik és tizedik évfolyamosok számára is érthető lehet. A csillagászati egység meghatározása meglehetősen bonyolult feladat, két távoli földrajzi helyről végzett megfigyelés adatai kellenének hozzá, ezért számolást nem végeztünk az észlelési adatokból. Egyébként is csak a kilépési kontaktusokat láttuk, valamint a sok érdeklődő tudományos munkát zavaró hatása miatt a feljegyzett időpontok pontossága sem lett kielégítő. A Vénusz átvonulás megfigyelése, az átvonulás furcsa, nem egyenletes időközönkénti bekövetkezése felkeltette a tanulók érdeklődését és alkalmat adott arra, hogy néhány csillagászati tényt elmondjak és egyszerű geometriával, ha közelítőleg is, közösen értelmezzük az átvonulás periodicitását. A jelenség megfigyeltetésével és bemutatásával pedagógiai és ismeretterjesztői céljaim egyaránt voltak.

II. rész

Környezetfizikai és földrajzi mérések

3. Egyszerű földrajzi helymeghatározás

Mai világunkban, sokakban felmerülhet a kérdés, hogy egyáltalán miért van szükség, egyszerű eszközökkel történő földrajzi helymeghatározásra, hiszen a korszerű GPS berendezésekkel egy kattintás segítségével, nagy pontossággal meghatározhatjuk koordinátáinkat. A mérés középiskolában történő elvégzése mégis azért hasznos, mert ezáltal a tanulók rákényszerülnek, hogy újra átgondolják a Föld és a Nap mozgásait, átismételjék földrajzi, fizikai ismereteiket. A mérést 2010-ben a fizikatanárok egyhetes nyári CERN-i továbbképzésén próbáltam ki először a földrajzi helymeghatározó csoport vezetőjeként, mivel utazás közben és a célhelyszínen is különböző méréseket végeztünk. Kézenfekvő volt a dolog, hogy a következő tanév őszén, Szekszárdon a környezetfizika szakkörrel is megismétljem ezt az egyszerű mérést, amelynek elvégzése után a földrajzi szélességet és hosszúságot egy kis számolással meghatározhattuk. Diákkörünk tematikájából adódó területek, a csillagászati és meteorológiai mérések adatainak térképi elhelyezéséhez is hasznos lehet a földrajzi helymeghatározás.

3. 1. Szakirodalmi kitekintés

3. 1. 1. Az időmérés problémája - analemma

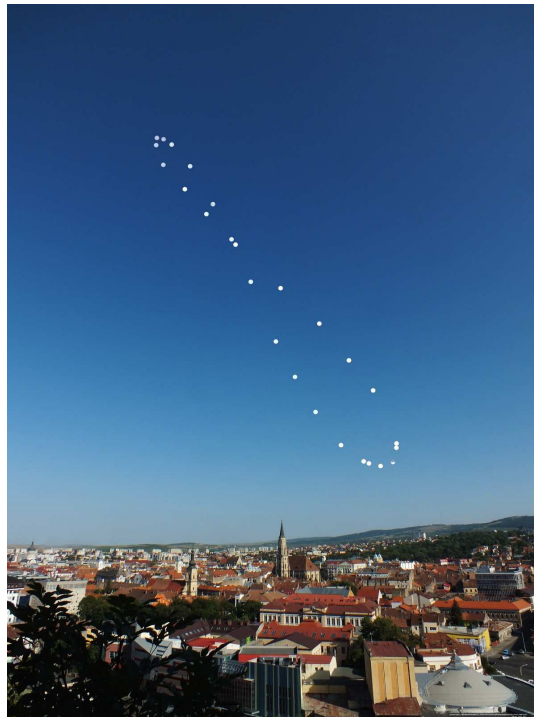
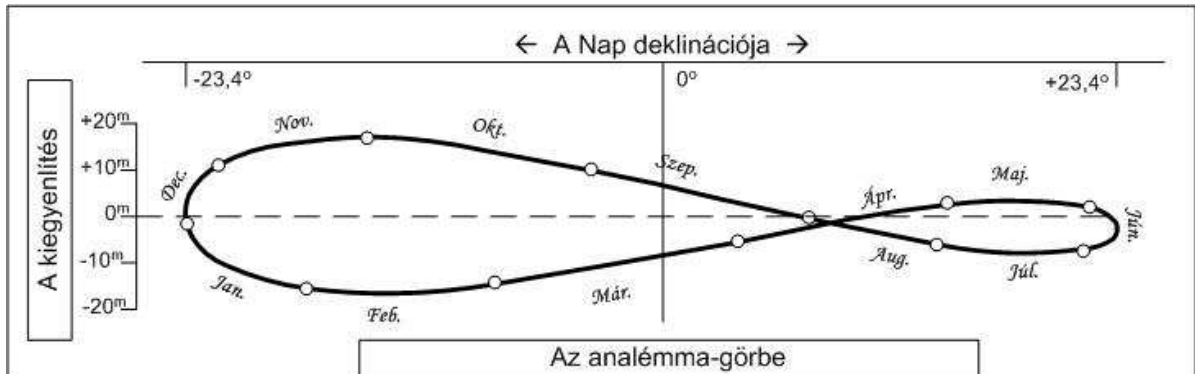
Az időmérés meglehetősen bonyolult kérdés, problémáinak megértetése a középiskolában nem könnyű feladat. Ahhoz, hogy a tanulók megértsék ezt az összetett kérdéskört, fejlett absztrakciós képességre és kiváló térlátásra van szükségük. A fő probléma az, hogy olyan periodikus jelenség alapján próbálunk időt mérni (a Nap járásában tükröződő Föld mozgása alapján), ami nem is igazán egyenletes.

Az év folyamán a Nap két egymás utáni delelése között eltelt időtartamok hossza nem egyenlő: december végén, január elején körülbelül 30 másodperccel hosszabbak, szeptember végén pedig kb. 21 másodperccel rövidebbek az átlagosnál. Ezt a változó hosszúságú napot (mint időtartamot), nevezzük valódi napnak. Ez azonban nem alkalmas pontosabb időszámítás céljaira. Tehát a valódi Nap (mint égitest) mozgása alapján pontos időmérés nem lehetséges. Hogy ezt a problémát kiküszöböljük, feltételezünk egy olyan fiktív égitestet, mely állandó szögsebességgel mozog, és a pálya befutásához ugyanannyi időre van szüksége, mint a valódi Napnak. Ezt az égitestet, amelynek mozgása már szolgálhat pontos időmérés alapjául, nevezzük fiktív közép-Napnak.

Pontos időszámítás csak teljesen egyenlő hosszúságú napokkal lehetséges, melyet elméletben úgy valósítunk meg, hogy a tropikus év (a Napnak a tavaszponton való két egymás utáni áthaladása között eltelt időköz) hosszát elosztjuk a benne lévő napok számával, és egy ilyen részt veszünk egy napnak (függetlenül a Nap valódi deleléseinek időpontjaitól), melyet középnapnak (időtartam) hívunk. A valódi idő évente csak négy alkalommal azonos a középideővel: április 16-a, június 14-e, szeptember 1-je és december 25 körül. A valódi Nap november elején 16 perccel korábban, február közepén 14 perccel később delel a fiktív közép-Napnál. (Kulin Gy., 1980)

Mivel az időmérés alapjául szolgáló fiktív közép-Nap és a valódi-Nap mozgása eltér, de mi a valódi Nap alapján mérünk, ezért egy előjeles számérték segítségével korrekciót kell alkalmaznunk: az eltérést hozzá kell adnunk a helyi időhöz, hogy megkapjuk az óra által mutatott helyi középideőt, amelyet már viszonyíthatunk a greenwichi délhez. Ennek a kiegyenlítésnek a matematikai kifejezése az időegyenlet, mely az óra által mutatott középideő és a Nap-óra által mutatott valódi idő különbsége. Grafikusan is megjeleníthetjük úgy, hogy

egy derékszögű koordinátarendszer egyik tengelyén a valódi nap és a középnap időeltérését, a másik tengelyen pedig a Nap aktuális deklinációját, illetve esetleg még a delelési magasságát tüntetjük fel. Így kapjuk meg az analemmagörbét.



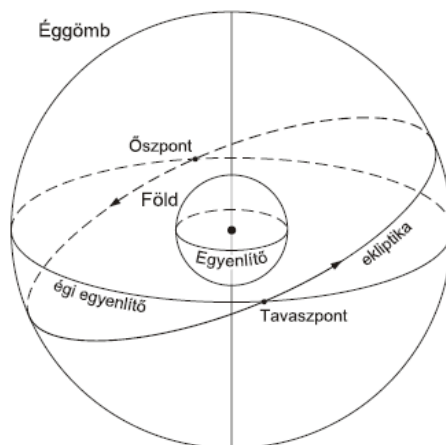
1. ábra. Felül: Az időegyenlet grafikus megjelenítése az analemma (forrás: internet)
Alul: a kolozsvári fotó-analemma (Váradi nagy Pál munkája)

Az grafikus időegyenlet egy szellemes módszerrel fotografikusan megjeleníthető: egy rögzített fényképezőgéppel egész éven át, a délben a Napról készített felvételeket egymásra fényképezzük, ezáltal kirajzolódik az analemma (1. ábra alsó része).

3. 1. 2. Az időmérés problémájának okai

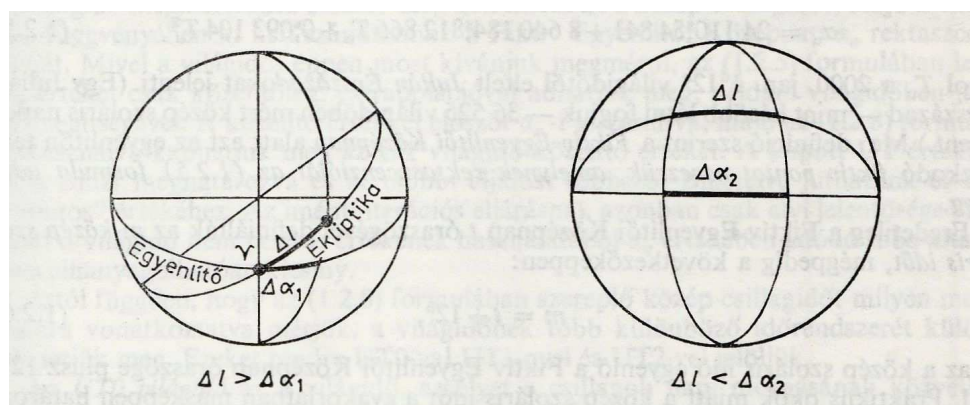
Nézzük meg részletesen annak okait, hogy miért nem állandó a Nap két egymás utáni delelése között eltelt időtartam.

1. Az első, a nagyobb eltérést adó ok az, hogy a Nap egy évig tartó látszólagos útja nem a Föld forgástengelyére merőleges síkba esik, hanem 23,5 fokos szöget alkot az égi egyenlítő síkjával. A Nap látszólagos útja az ekliptika köre, ez a nevezetes térrész az állatövi csillagképek vidéke, melynek már az régi kultúrákban is különleges jelentőséget tulajdonítottak (állatövi jegyek). Ezek a körök két pontban metszik egymást, a tavaszi és őszi napéjegyenlőségi pontokban. A Nap évente csak két alkalommal tartózkodik az égi egyenlítőn, tavasztól ősziig fölött, őszől tavaszig pedig alatta végzi látszólagos napi mozgását. Tehát, a Nap az ekliptikán halad, napi mozgását viszont az égi egyenlítőn mérjük.



2. ábra. Az égi egyenlítő és az ekliptika. (Forrás: tudásbázis, Sulinet.hu)

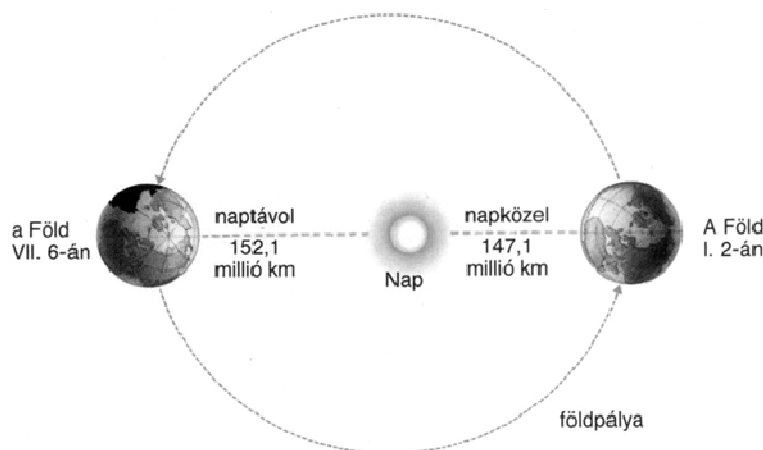
A Nap helyzetváltozásának egy napi ívét kell levetítenünk az égi egyenlítőre, mert a Föld forgásának idejét ezen mérjük. A két sík 23,5 fokos hajlásszöge miatt a levetített napi ívdarabok hossza nem egyenlő (3. ábra).



3. ábra. Az egy napi ív levetítése az égi egyenlítőre (Marik M., 1989)

Ez a hosszúság a nyári és a téli napforduló idején a legnagyobb, mivel ilyenkor egy kis szakaszt tekintve a kérdéses íveken, ezek közelítőleg párhuzamosak. A napéjegyenlőségek (equinoctium) környéki időszakokban viszont rövidebbek lesznek az ívdarabok merőleges vetületei, ennek megfelelően azok az időtartamok, amelyek a nap két delelése között eltelnek.

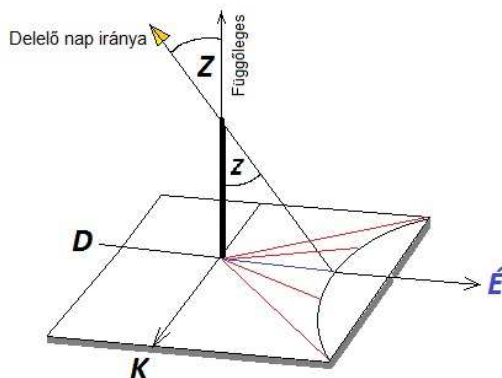
2. A második, kisebb eltérést adó ok az, hogy a Föld pályája ellipszis alakú (4. ábra), ennek következtében is változik a szoláris nap hossza. Kepler második törvényének következménye, hogy napközben gyorsabban, naptávolban lassabban mozognak a bolygók, így a Föld is. Ezen mozgás visszatükröződéseként, a januári napközelség (perihélium) idején valamivel hosszabbak a szoláris napok, mint nyáron naptávolban (afélium).



4. ábra. A földpálya alakja (forrás: internet: tankönyvtár.hu)

3. 2. Mérés a középiskolában

A méréshez természetesen derült idő szükséges, hogy a Napot akadálytalanul láthassuk. A kivitelezéshez egyszerű eszközökre volt szükség, melyek a tanulók rendelkezésére álltak, illetve könnyen beszerezhetők vagy a szertárban fellelhetők voltak. Mindkét mérés megvalósításához szükség volt egy gnómonra (5. ábra), amely egy függőleges pálca, mely árnyékát vízszintes lapra veti. Az árnyék irányában és hosszában a Nap járása tükröződik, a legrövidebb deleléskor, ekkor iránya pontosan észak-déli.



5. ábra. A gnómon (forrás: internet)

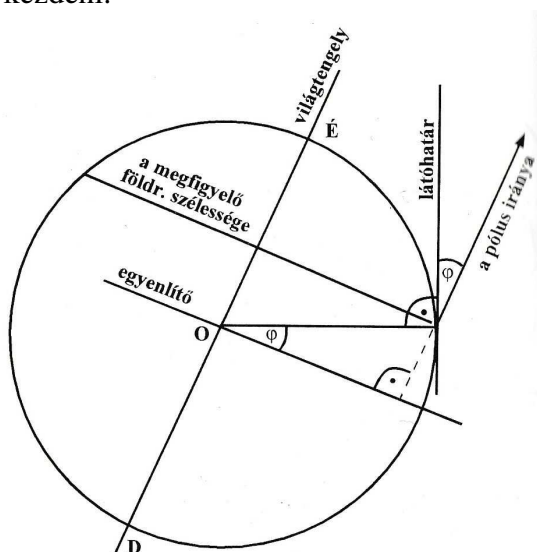
A szükséges **matematikai** ismeretek: hasonló háromszögek, merőleges szárú szögek, pótszögek, szögfüggvények, merőleges vetítés, ellipszis.

A szükséges **földrajzi** ismeretek: egyenlítő, ekliptika, pólus, tavaszpont, ősypont, zenit, földrajzi szélesség, földrajzi hosszúság, tengelyferdeség, deklináció, délkör, kezdő meridián, időzóna, perihélium, afélium, nyári és téli napforduló.

Szükséges **fizikai** ismeretek: Kepler II. törvénye.

3. 2. 1. A földrajzi szélesség meghatározása

A földrajzi szélesség meghatározása egyszerűbb, mint a földrajzi hosszúságé, ezért didaktikai szempontból ezzel érdemes kezdeni.



6. ábra. A pólus horizont feletti magassága megegyezik a hely földrajzi szélességével (forrás: Kallós K., 1997)

A méréshez csupán nagyméretű táblai szögmérőre, függőőrnra, tájolóra, fehér lapokra és gnómonra van szükség. A fizikaszertárból elővettünk egy szögmérőt, amelynek középpontjára rögzítettük a függőőrt, így megkaptuk házi kvadránsunkat. Ha rögtönzött kvadránsunk függőleges síkban áll és célzóéle a Napra mutat, akkor a függőőrn helyzete alapján leolvasott szögmérték a szögmérő speciális számozása miatt, az egyenes él függőlegestől való eltérését mutatja. Ennek pótszöge a Nap deleléskori magassága.

A fehér lapok vetítőernyőként szerepelnek. Az eszköz élet úgy irányítottuk pontosan a Nap felé, hogy a kvadráns mögé helyezett vetítőernyőn az egyenes él végpontjainak árnyékát figyelve mozgattuk a szögmérőt. Akkor mutat az él pontosan a Nap irányába, amikor a két pont árnyéka egybeesik, ekkor a fokbeosztásról leolvasható az égitest zenittávolsága. Ha mérésünket úgy tudjuk időzíteni, hogy éppen a tavaszi vagy őszi napforduló idejére esik, akkor készen is vagyunk, a leolvasott érték pótszöge a földrajzi szélességgel egyenlő.

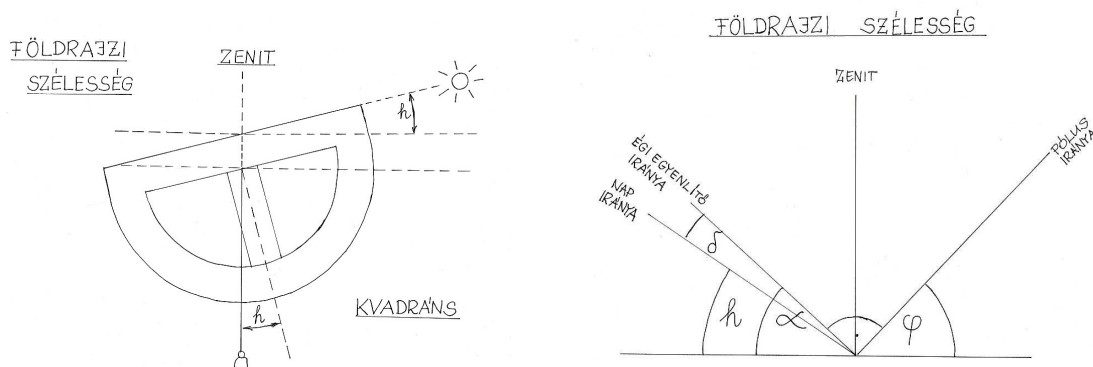


7. ábra. A Nap delelési magasságának mérése

Ha nem a napfordulók idején végezzük a mérést, akkor szükség van annak figyelembe vételére, hogy a Nap ezen időpontok kivételével nem az égi egyenlítőn, hanem hol felette, hol alatta jár. Hogy melyik napon mennyivel, azt a Csillagászati Évkönyv, planetárium programok vagy egyéb katalógus tartalmazza. Ez a fokban mért érték, a deklináció, amelynek előjeles értékét le kell vonnunk a mérési eredményünkből. A számoláshoz szükséges aznapi deklináció értékét a Cartes du Ciel égbolttérkép planetárium programból nyomtattuk ki. (<http://www.astrosurf.com/astrope>), de leolvasható lett volna a analemma görbéről is.

A földrajzi szélesség meghatározásának vázlatos menete:

1. Tervezés: Alapos előkészítés után tanulóim rajzokat készítettek és előállítottuk házi kvadránstunkat.



8. ábra. A mérés megtervezése (tanulói ábrák). A bal oldali ábra a kvadránst mutatja be, a jobb oldali a horizont feletti magasság, a Nap iránya és az égi egyenlítő irányának eltérését szemlélteti az őszi napéjegylenlőségtől a tavaszi napéjegylenlőségig terjedő időszakra.

2. A horizont feletti magasság (h) mérése, a deklináció értékének kigyűjtése

3. $\alpha = h - \delta$ (4. ábra)

4. $\varphi = 90^\circ - \alpha$ (4. ábra)

Konkrét eredményeink: $h = 25,5^\circ$ $\delta = -18,5^\circ$

$$\alpha = h - \delta = 25,5^\circ - (-18,5^\circ) = 44^\circ$$

$$\varphi = 90^0 - \alpha = 90^0 - 44^0 = 46^0$$

Irodalmi érték: $\varphi = 46^0 21'$

Másik módszer a Nap horizont feletti magasságának meghatározásához:

A függőleges pálca magasságát és árnyékának hosszát megmérjük, és szögfüggvény segítségével meghatározzuk a Nap horizont feletti magasságát. Ha a mérést olyan tanulókkal végezzük, akik még nem járatosak a szögfüggvényekkel való számolásban, akkor a függőleges pálca magasságát és árnyékának hosszát ugyanúgy megmérjük, mint az előző esetben, az adatokból (ha szükséges, hasonlóságot felhasználva) egy lapon megszerkesztjük az ábrát és a keresett szöget szögmérővel lemérjük. (Baranyai K., 2009)

A Nap aznapi maximális horizont feletti magasságának méréséhez szükségünk van **delelésnek időpontjára**, amelyet a földrajzi hosszúság ismeretében könnyen megtudhatnánk, másik mérésünkkel azonban éppen ezt akarjuk meghatározni, tehát ismeretlen adatként kell kezelnünk.

A delelés időpontjának meghatározásához többféleképpen is eljuthatunk:

1. Ha sok időnk van, és folyamatos mérést tudunk végezni, akkor a Nap magasságát az idő függvényében feljegyezve kiválasztható az adatsorból a legnagyobb érték, ekkor delelt a Nap. (Görbe L., Nyerges Gy., Sebestyén Z., Simon P., Ujvári S., 2006)

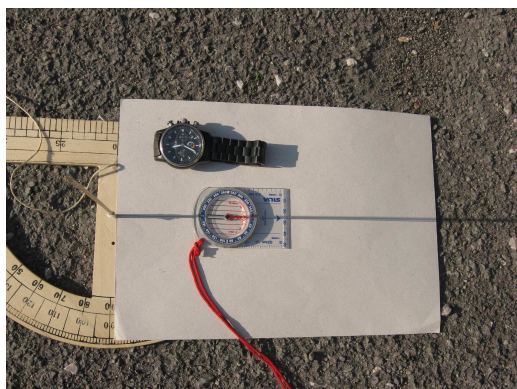
A további módszerek alapja az, hogy a Nap delelésekor egy függőleges pólus árnyéka éppen a délvonalba esik. Tehát, ha valamilyen módszerrel ki tudjuk tűzni a délvonalat, akkor már könnyen meghatározható a delelés időpontja.

2. A mérésre rendelkezésre álló idő korlátozott volta miatt, diákcsoportommal mi tájolóval jelöltük ki az észak-dél vonalat.

3. A pontos észak-déli irányt gnómonnal is meghatározhatjuk, az **indiai kör módszerével**. Ennek lényege, hogy a gnómon talppontja köré egyre nagyobb sugárral koncentrikus köröket rajzolunk és megfigyeljük, hogy a Nap napi járása során a pálca végének árnyéka hol érinti a köröket. Adott sugarú kör esetén ez kétszer fog bekövetkezni a nap folyamán, egyszer az emelkedéskor, egyszer pedig delelés után a süllyedéskor. Ezeket a pontpárokat több koncentrikus körön is bejelöljük, majd megszerkesztjük a felezőmerőlegesüket, amely egyúttal kijelöli az észak-déli irányt. A Nap akkor delel, amikor a gnómon árnyéka az észak-déli irányba simul bele. (Kulin Gy., 1980)

3. 2. 2. A földrajzi hosszúság meghatározása

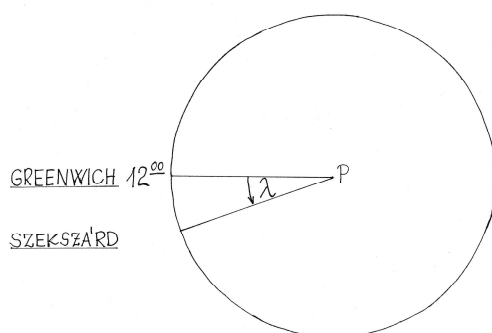
A földrajzi hosszúság meghatározásához szükséges eszközök: tájoló, vízmérték, gnómon és pontos óra. Ennél a mérésnél is szükségünk volt az észak-déli irány ismeretére, amelyet az egyik papírlapon megrajzoltunk a tájoló segítségével. A vonal déli végére állítottunk egy függőleges hurkapálcát és a lapra előre megrajzolt vonalat a tájoló segítségével forgattuk be a megfelelő irányba. A függőlegességet és a vízszinteséget vízmérték segítségével állítottuk be, majd feljegyeztük, hogy a pálca árnyéka mikor halad át az észak-dél vonalon.



9. ábra. A földrajzi hosszúság meghatározásához szükséges mérés kivitelezése

Azt kellett megállapítanunk, hogy a delelés hány perccel korábban következett be a világidő szerinti (greenwichi) délnél. Az eredményül kapott percek számát négygel osztva (mert a Nap négy percenként tesz meg 1 fokot az égi útján) megkaptuk a keresett hosszúságot fokban.

FÖLDRAJZI HOSSZÚSÁG



10. ábra. Képzeljük magunkat a Föld északi pólusa fölé. A Föld felülnézetét ábrázoljuk, a kezdő meridián és a Szekszárdon átmenő délkör vetületével. (tanulói ábra)

Mérésünket – néhány speciális naptól eltekintve – az időegyenlet megfelelő értékével korrigálni kell. A korrekciós értékeket különféle helyeken közléteszik. Elérhető az interneten keresztül, de sok könyvben megtalálható a grafikus időegyenletet, az analemma is. Így, mi például a Távcső világa című könyvben lévő grafikus időegyenletről leolvasott adatok segítségével végeztük el a földrajzi hosszúság korrekcióját.

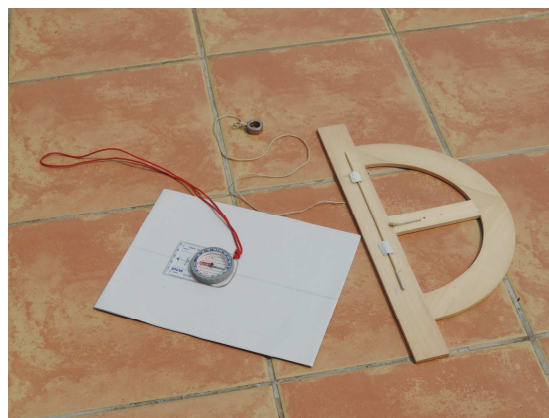
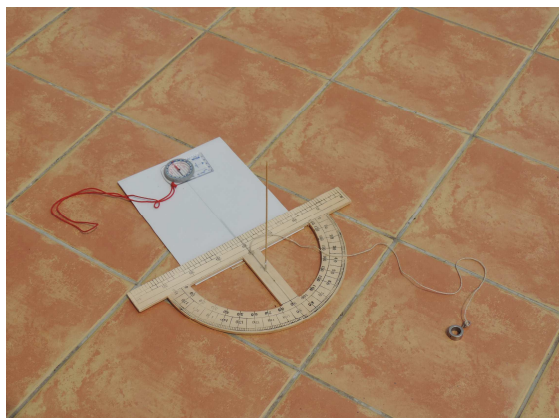
A mérést a novemberben végeztük, amikor 1 órával mutatott többet az óra, mint Greenwichben (nyári időszámítás idején két óra az eltérés). Mérésünk szerint 11:33-kor delelt a Nap észlelési helyünkön. Az időegyenlet szerint ebben az időszakban 15 percet kell hozzáadni kiegyenlítésnek, így kaptunk meg a helyi delelési középideőt, 11:48-at. A Nap nálunk 12 perccel és még 60 perccel (az időzóna miatt) korábban delelt, mint Greenwichben. Ez összesen 72 perc, ezt 4-gyel osztva 18 fokos keleti hosszúságot kaptunk, az irodalmi érték pedig: 18°42'.

Megjegyzés:

Ha nem áll rendelkezésre a méréshez az egész nap (tanítási időszakban ez a leggyakoribb), akkor a hosszadalmas indiai körös szerkesztést helyettesíthetjük, az észak-déli irány gyorsabb kijelölését lehetővé tevő tájolóval (iránytűvel). Tanítványaim is ezzel a módszerrel dolgoztak. Azonban ekkor egy újabb hibatényező terheli mérési eljárásunkat, a tájoló hibája. Milyen további tényezők határozzák meg mérésünk pontosságát? Egyik hibaforrás a delelés pontos idejének meghatározása, ráadásul erre az adatra mindkét mérésnél szükség van. A déli órákban a Nap horizont feletti magassága alig változik (közel párhuzamosan jár a horizonttal), ezért a földrajzi szélesség meghatározására irányuló mérésünk nem érzékeny a delelési időpont nagyon pontos meghatározására. A földrajzi hosszúság mérése viszont igen. Másik hibatényező lehet a szögmérő fokbeosztása. Mindezek alapján a hiba, amellyel számolnunk kell, nagyságrendileg 1^0 . Napjainkban talán nem annyira lényeges a mérés hibája, de a földrajzi felfedezések korában ennek nagy volt a jelentősége, hiszen a helyi dél megállapításában ejtett 4 perces hiba, akár 100 km eltérést is jelenthetett a földrajzi hosszúságban (az egyenlítő közelében).

Összefoglalás

Napjainkban kiváló projektfeladatnak bizonyulhat ez az egyszerű eszközökkel elvégezhető mérés, amelyet tanulóimmal elvégeztem. A diákok nagyon sok drága, bonyolult készülékkel kerülnek kapcsolatba laboratóriumi gyakorlatokon a gimnáziumi tanulmányaik alatt, valamint otthon is ilyenekkel vannak körülvéve. Emiatt elfelejtenek gondolkodni, mert ezek a készülékek mind nyomógombok segítségével, automatikusan működnek. Az egyszerű eszközök visszavezetik őket a megértést igénylő gondolkodáshoz, gyakorlati érzékük, leleményességük fejlődik azáltal, hogy egyszerű eszközökből (tanári segítséggel) mérőberendezést terveznek, és el is készítik azt. A projektfeladat megvalósítása közben számos, a tankönyvekből megtanult ismeretet kellett újra átgondolniuk, gyakorlatban alkalmazniuk. Ez tovább mélyítette a Nap és a Föld mozgásával kapcsolatos földrajzi tudásukat, valamint matematikából a geometriai ismereteik új alkalmazási területével ismerkedhettek meg. Számukra Kepler második törvényének következménye nem száraz tankönyvi ismeret, hanem gyakorlatban megjelenő probléma. Így a mérési eljárás átgondolásával és a számítások elvégzésével, természetes tantárgyi koncentráció valósítható meg. A földrajzi helymeghatározáshoz konstruált kétfunkciós mérőeszköz a 11. ábrán látható, melyhez Nyerges Gyula adta az ötletet.



11. ábra. A kétfunkciós mérőeszköz

4. Radarmérések és értelmezésük [3]

A középiskolás korosztály sokat időt tölt a számítógép előtt, azonban a felmérésekből kiderül, hogy gyakran nem túl értelmes célokra használják a számítógép adta lehetőségeket. Leginkább a közösségi oldalakat látogatják, valamint a játékprogramok futnak a legtöbbet a gépeken. Iskolai feladatok végrehajtására, interneten történő kutatásra és szövegszerkesztésre a diákok együttevén is kevesebb időt fordítanak, mint a fentebb említettek. Az is nyilvánvaló, hogy ez a dolog erősen függ a tanulók korától, intellektuális képességeitől és családi környezetétől. Gimnáziumokban és felsőbb évfolyamokon kevésbé gyakori, de annál jellemzőbb alacsonyabb életkorban és más iskolatípusokban. A számítógép-használati szokások közül a játék túlzott előtérbe kerülése akadályozhatja más hasznos számítógépes tevékenységek terjedését, tehát a számítógép oktatófunkcióját meg kell erősíteni és a tanulók körében, népszerűsíteni a számítógépes programok és az értelmes internet használat iskolai oktatásba történő intenzív bevonásával. Másrészt pedig az is nyilvánvaló, hogy mindennapi életünk ezer szállal kötődik a meteorológiához. Egy nyári hétköznapi reggelen hogyan öltözzünk fel, vigyünk-e magunkkal kardigánt vagy esernyőt? Hétvégén, illetve a szabadság idején hogyan tervezzük meg a napunkat: túrázni menjünk vagy inkább belvárosi, múzeumi sétára? Ha túrázni megyünk, akkor mekkora távot tervezzünk be: egész naposat, vagy csak félnaposat, mert példának okáért a híradásokból hallottuk, hogy egy zivatarzóna felhőzete közeledik felénk? Mikorra éri el a csapadékszóna a mi tartózkodási helyünket? Középiskolai ismeretekkel lehet-e erre valamiféle becsléseket tenni? Ha matematikai, fizikai, földrajzi ismeretek alkalmazásával erre tudunk mondani valamit, akkor ezzel ellenpéldát adunk a természettudományos tárgyakkal szemben megnyilvánuló azon gyakori kritika ellen, hogy „minek az a sok elméleti ismeret, úgysem használjuk azokat sehol a gyakorlati életben”.

Már régóta ismeretes (és a természetet járó emberek a mai napig használják is) a viszonylag közeli zivatarok távolságának becslésére használatos módszer, melynek alapja a fény és a hang terjedési sebessége közötti különbség. Csupán meg kell megszámolni a másodperceket a távoli felhőben észlelt villám fényének megpillantásától a villámlás hangjának, a dörgésnek az észleléséig, majd a kapott értéket hárommal osztva megkapjuk a zivatar hozzávetőleges távolságát km-ben. Ennek alapja az, hogy a hang terjedési sebessége a levegőben 340 m/s, azaz 3 másodperc alatt tesz meg körülbelül egy kilométert, tehát egy egyszerű egyenes arányossági következtetésről van szó a távolság meghatározásakor. De ha valaki pontosan akar számolni, akkor számolja a másodperceket a villanástól, a végén beszorozza 340-nel, ennyi métert tett még a hang, amíg elért hozzá, ezt azután visszaosztja 1000-rel, hogy km-t kapjon. Az egyszerű osztást a szorzás műveletére cserélni nem éri meg, mert csak látszólagosan kapunk pontosabb távolságot, hiszen eleve hibaforrás a másodpercek megszámolása. Például számolunk 9 másodpercet, ezt könnyebb elosztani hárommal, mint megszorozni 340-nel. Nézzük az eredményt: 9 osztva 3-mal az 3 km (egy pillanat alatt fejből), a szorzással: $9 \cdot 340 = 3060$ m (ezen a tanulóknak gondolkodni kell egy kicsit), ami megközelítőleg ugyanazt az eredményt adja. Ez az egyszerű becslés adta az ötletet, az előzetes meteorológiai térképek alapján a csapadékszóna érkezési idejének kiszámolására. Tehát, nyilvánvalóvá vált a számomra, hogy a környezetfizika szakkörön az egyik kínálkozó téma lehetőség (tantárgyi koncentrációként a földrajzzal) az interneten keresztül szabadon hozzáférhető meteorológiai térképek bemutatása, elemzése, belőlük következtetések levonása, ezzel is erősítve a fizika és az a gyakorlati élet kapcsolatát. Hogyan használhatjuk ezeket a térképeket a tantárgy népszerűsítésére, fizikaóráink színesítésére vagy szakköri, ill. fakultációs témának történő feldolgozásakor? A példák sora messzire vezetne, most egyetlen

területet, a radarmeteorológiát emeljük ki, amely sokoldalú ismeretanyaga és érdekessége, valamint a gazdag internetes szemléltető anyag miatt mindenképpen hasznos lehet számunkra. Hogyan működik a meteorológiai radar? Hogyan készülnek a radartérképek? Milyen időjárási információk olvashatók le róluk? Hogyan használhatjuk a leolvasott információkat mindennapi életünkben? Ezek mind olyan kérdések lehetnek, melyek megválaszolhatóak és tanulóink érdeklődését is felkelthetik a fizika iránt.

4. 1. A téma elhelyezése a tananyagban

A radarhullámok az elektromágneses spektrum részét képezik. Az elektromágneses hullámok, az elektromágneses spektrum a tizenegyedik évfolyam fizika tananyagának része. Miután a tanulók a tizedik osztályban túljutottak az elektromosságtan bevezető fejezetein, megismerkednek a mechanikai rezgésekkel és a mechanikai hullámok jellegzetességeivel, tisztázzák a megfelelő alapfogalmakat – akkor lesznek képesek megérteni az elektromágneses hullámok keletkezését és tulajdonságait, az elektromágneses spektrum szerkezetét.

A csapadékokról a hetedik fizika tankönyvben (Mozaik Kiadó) olvasmány formájában olvashatunk. A Műszaki Könyvkiadó tizedik évfolyamos fizika tankönyve tartalmazza a „Csapadékok a Föld légkörében” című olvasmányt (Gulyás-Honyek-Markovics-Szalóki-Tomcsányi-Varga-féle változat). A Póda-Urbán-féle Fizika 10. (Nemzeti Tankönyvkiadó) a 15. leckében tárgyalja a csapadékok fajtáit.

A felhő- és csapadékképződéssel kapcsolatos témák megjelenése az általam áttekintett középiskolai földrajz tankönyvekben: a Mozaik Kiadó Földrajz 9. tankönyvében: A geoszféra című fejezet 3. leckéje „A felhő és csapadékképződés”, amely lecke után két számolási feladat következik. A 4. (Ciklonok, anticiklonok) és 5. (Időjárási frontok) lecke után következik egy gyakorlati óra: Az időjárás előrejelzése, az időjárás-jelentés értelmezése. Ebben a leckében szó esik a műholdképekről, de a radartérképre külön nem tér ki. A Nemzedékek tudása Kiadó: Földrajz 9. tankönyvében „A légkör földrajza” című fejezetben a 4. lecke „A nedvességtartalom és csapadék”, majd az 5. lecke: „Ciklonok, anticiklonok” (benne az időjárási frontokkal is). Ez után következik egy projektfeladatok kijelölésére, körvonalazására lehetőséget adó óra: „Várható időjárás” - projektfeladatok és gyakorlatok az időjárás megfigyeléséhez. Itt szerepel az a feladatok között, hogy tanulmányozzák néhány napon keresztül a műholdképeket és az aktuális honlapon az előrejelzést, majd készítsenek maguk is egy rövid prognózist.

A tizenegyedik osztályban fizikából a mikrohullámok alkalmazási területeként beszélünk a mikrohullámú sütő és a mobiltelefon működéséről, a rádiócsillagászatról és a rádiótávcsövekről, valamint a radar hajózásnál és repülésnél való alkalmazhatóságáról. Egyik lehetőségként ezen a ponton kapcsolható a tananyaghoz, óráink változatosabbá tételére a címben megjelölt téma, hiszen innen már csak egy gondolati ugrás arról beszélni, hogy a múlt század ötvenes éveiben kiderült, hogy a repülőgépek és hajók követésére szolgáló radarberendezések alkalmas átalakítással jól használhatók mind a felhők nyomon követésére, mind a bennük lejátszódó folyamatok tanulmányozására. A radarmeteorológia első eredményei a zivatarfelhők életciklusára vonatkozó következtetések voltak.

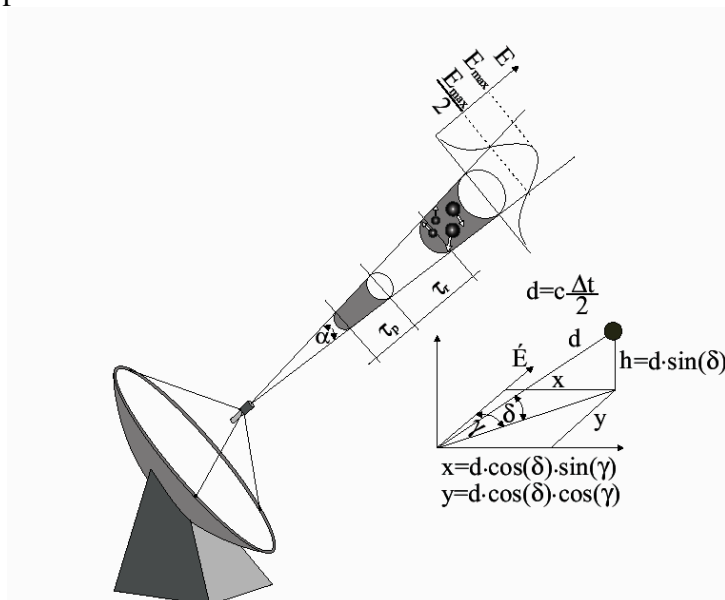
A másik lehetőség a téma feldolgozására a tehetséggondozó fizika szakkörök keretében van, esetemben környezetfizika szakkörön nyílt erre mód.

4. 2. Szakirodalmi áttekintés

4. 2. 1. A radar, radaregyenlet

A **radar** egy olyan rádiótechnikai rendszer, amely mikrohullámmal működik, egy adó-vevő-antennából és a visszavert jelet megjelenítő berendezésből áll. Nagyteljesítményű, koncentrált rádióhullám-csomagokat sugároz ki, amelyeket a céltárgyról történő visszaverődés után detektál, majd a kapott jelekből információkat olvas ki a céltárgy helyzetére és tulajdonságaira vonatkozóan.

A radarmérés elve: Az **időjárési radar** folyamatosan mozgó antennájával másodpercenként néhány száz alkalommal, néhány száz méter hosszú keskeny (kb. 1 fokos nyílásszélességű), nagyfrekvenciás (több GHz-es) impulzusokat bocsát ki a térbe. A nyaláb útjába kerülő csapadékelemek egyrészt elnyelik, másrészt minden irányba szétszórják a sugárzást. A radarantenna irányába szórt (visszavert) sugárzást a radar képes detektálni. Néhányszor száz méteres térbeli és néhány perces időbeli felbontást képesek elérni. Segítségükkel nyomon követhetjük a felhők fejlődését, mozgását, a bennük lévő csapadékelemek koncentrációját, alakját, halmazállapotát.



1. ábra. A radar működése (Geresdi I., 2004)

Jelmagyarázat:

- E = kibocsátott energia
- c = az elektromágneses hullám terjedési sebessége
- Δt = a kibocsátás és visszaverődés között eltelt idő
- γ és δ szögek = az antenna pozíciója
- α = a sugárnyaláb szélessége
- τ_p = a kibocsátott impulzus hossza
- τ_r = a két impulzus kibocsátása között eltelt idő
- \hat{E} = északi irány

A reflektivitás a céltárgy visszaverő képessége, amelyet a vett jel szintjéből határoznak meg. A visszaverődés mértéke függ a felhő- és csapadékelemek méretétől, számától, a felhő víztartalmától, továbbá egyéb fizikai tulajdonságaitól, mint halmazállapot összetétel, stb. Minél nagyobb átmérőjük az esőcseppek a vizsgált térfogatban, annál nagyobb a visszaverő képességük. Ez a mennyiség több mint tíz nagyságrendben változik, ezért 10-es alapú logaritmusának 10-zel történő szorzásával kapott dBZ (decibel Z) értékeket használjuk a jellemzők megadásakor.

A radaregyenlet:

$$10 \cdot \log Z = 10 \cdot \log P_r + 20 \cdot \log r - C$$

Jelmagyarázat: P_r = átlagos teljesítmény

r = a radar és a céltárgy közötti távolság

C = a radar paramétereiből és más konstansokból számított állandó

Z = ekvivalens reflektivitási faktor (a radar paramétereitől független)

Mit olvashatunk le a radaregyenletről?

A jobb oldal második tagja azt fejezi ki, hogy a visszavert jel teljesítménye a távolság négyzetével fordítottan arányos, tehát távolabbi tárgyak esetén csökken az egységnyi felületre eső energia sűrűsége. A közelebbi tárgyakról több energia jut vissza a vevőbe, mint az ugyanolyan paraméterekkel rendelkező távoliakról. (Geresdi I., 2004)

Ezt a problémát a modern radaroknál úgy küszöbölik ki, hogy minél közelebb vannak a sugárzást visszaverő csapadékelemek a radarhoz, annál erősebben gyengítik az antenna által felfogott jelet, ezt nevezzük távolsági (r^2) korrekciónak. (Czelnai R., 1991)

A radar adott vevőérzékenység esetén a távolság szerint csökkenő sugárzás miatt, a távolság növekedésével egyre nagyobb intenzitású csapadékot képes csak felderíteni. A radar érzékenysége hullámhossztól is függ. Minél rövidebb a hullámhossza annál érzékenyebb a berendezés. A közeli zónában már a szitáló csapadék jelzésére is képes a radar, de a távolság növekedésével csak 0,1 – 0,3 mm/h intenzitású csapadék érzékelésére képes.

10 · log Z intervallumok	felhőtípusok, csapadékok
-30 dBZ és 0 dBZ	néhányszor 10 µm-es vízcseppek; vékony réteges vagy gomolyos felhők
0 dBZ és 10 dBZ	már 50 µm-es vízcseppek is jelen vannak; nagyon gyenge intenzitású csapadék: eső vagy hó
10 dBZ és 30 dBZ	közepes intenzitású eső vagy erős havazás
30 dBZ és 55 dBZ	közepes vagy erős intenzitású eső
55 dBZ fölött	jégszemek is találhatóak a felhőben

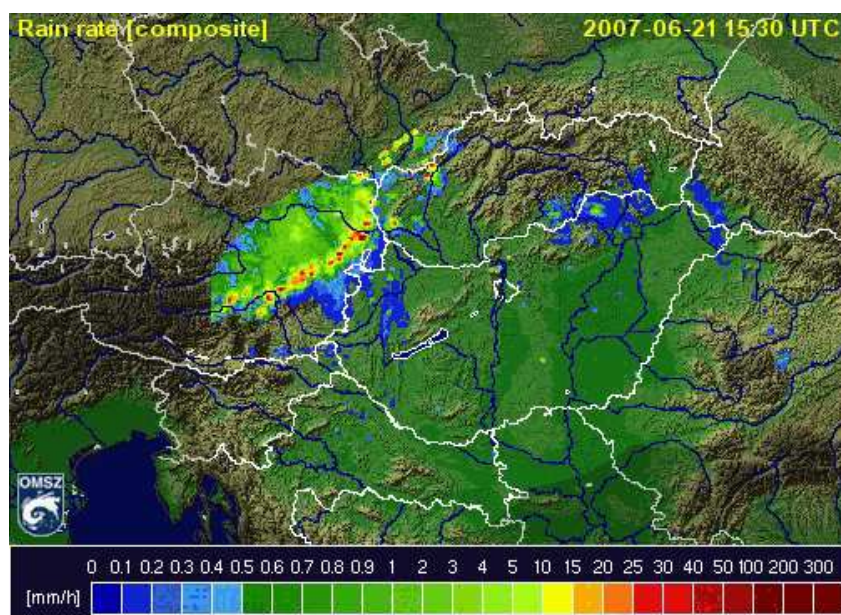
2. ábra. A mért $10 \cdot \log Z$ értékek és a csapadékfajták összefüggése (Geresdi I., 2004)

A radarral mért Z reflektivitásból mm/h-ban megadott ekvivalens csapadékintenzitást is lehet számolni (pillanatnyi érték). Ebből pedig az egy óra alatt lehullott területi csapadékmennyiség is megbecsülhető. A radar másodpercenként néhány száz impulzust bocsát ki és folyamatosan pásztáz az antennája, ezért képes adott távolságon belül a csapadék idő és térbeli eloszlásáról folyamatos információt szolgáltatni.

4. 2. 2. A meteorológiai radarok

A meteorológiai célra használt radar antennája 4-5 m átmérőjű forgási paraboloid felület, mely függőleges és vízszintes tengely körül is elfordítható. Az elektromágneses energia kisugárzása rövid impulzusokban történik a következő hullámhosszak valamelyikén: X-sáv: 3,2 cm; C-sáv: 5 cm; S-sáv: 10 cm. Felhőelemek tanulmányozására használnak még 1 és 8 mm-es impulzusokat kibocsátó radarokat. A mérések során figyelembe kell venni ebben az esetben azt, hogy a hullámhossz csökkenésével a sugárzás a csapadékszónán áthaladva egyre erősebben gyengül. (Geresdi I., 2004)

A radar másodpercenként legalább 250 impulzust bocsát ki. Egy-egy impulzus hossza maximum 600 m; a kibocsátott sugárnyaláb nyalábszélessége 0,5 - 1,5 fok. Fontos jellemző a nyalábszélesség (azt a szögtartományt, amelyben a nyalábban kisugárzott energia a maximális érték felére csökken). Függ az antenna méretétől és az alkalmazott hullámhossztól. Két impulzus kibocsátása között a radar vevőként működik: méri a visszavert jel intenzitását. A visszaérkező jelet visszhangnak, echónak nevezik. Egy-egy radarral 200 - 400 km sugarú körben lehet megfigyeléseket végezni, ezért Magyarországon az ország hossztengetyét figyelembe véve három radarállomást létesítettek: Pogányvár (Sármellék közelében), Budapest – Pestszentlőrinc, Nyíregyháza – Napkor. Mindhárom meteorológiai radarral 240 km-es sugárban, 10 percenként végzik a horizontális és vertikális méréseket, különböző magasságoknak megfelelő szögeken. Egy-egy mérési folyamat 3 - 6 percig tart, attól függően, hogy hány magassági szögben végeznek mérést. A három Magyarországi radar méréseit ún. kompozit képen foglalják össze.

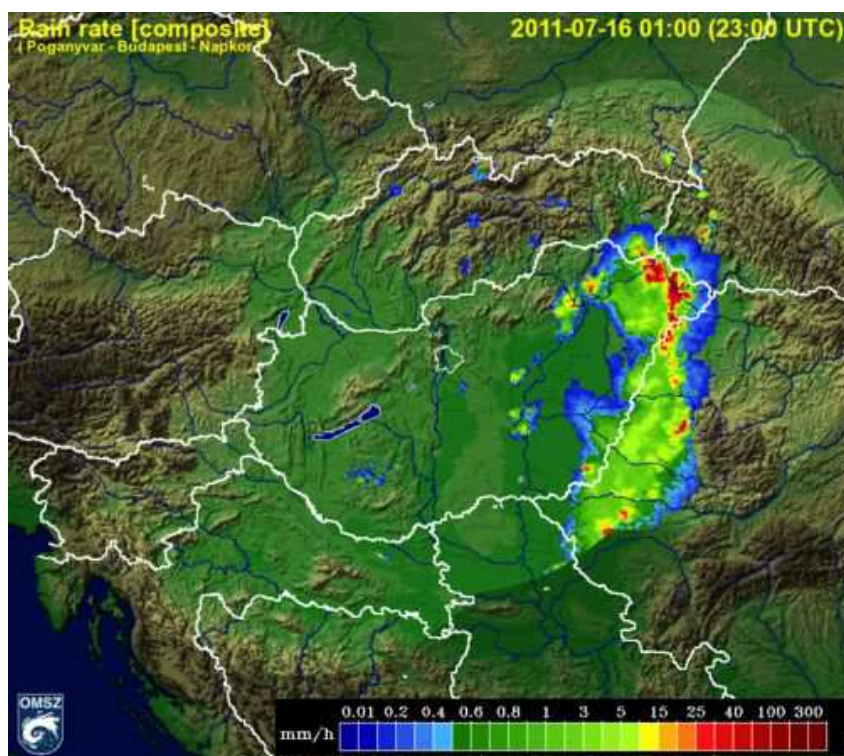


3. ábra. Kompozitkép, ÉNY-ről közeledő zivatarlanc (forrás:met.hu)

Az impulzusok kisugárzása és visszaverődése között eltelt időből határozható meg a megfigyelt objektum távolsága. Ha ismerjük a radarantenna pozícióját, akkor a felhő pontos koordinátái is kiszámíthatóak. Néhányszor 100 m-es térbeli és néhány perces időbeli felbontással nyomon követhető a felhők mozgása, fejlődése, adatokat kaphatunk a különböző

típusú hidrometeorok (különböző méretű és formájú vízcseppek és jégrészecskék) koncentrációjáról, alakjáról és halmazállapotáról. Egy paraméter meghatározásához 30-80 db visszaverődés átlagolása szükséges. A visszavert jel erőssége függ a sugárzást visszaverő részecskék alakjától, koncentrációjától, halmazállapotától és méretétől. A visszavert jel erősségéből arra következtethetünk, hogy milyen fejlődési fázisban van a felhő, és hogy mennyi csapadék hullik belőle. A radarhullámok szóródása miatt az antenna által kisugárzott energiának csak kis része érkezik vissza. A kisugárzott és vett energia között 17 nagyságrend a különbség, tehát az echo felerősítéséhez külön berendezést kell alkalmazni.

Az időjárási radarok első alkalmazási területe, hogy a mindennapi meteorológiai megfigyelőrendszer részét alkotják, ugyanis a földfelszíni mérőhálózat nem elég sűrű ahhoz, hogy általa megbízható adatokhoz jussunk a mezoskálájú vagy konvektív folyamatokról. További alkalmazási terület a zivatarok és az őket kísérő szellőkések ultrarövid távú előrejelzése. Erre példa a balatoni viharjelző rendszer. Óriási szerepük van a lokális időjárási jelenségek (pl. zivatarok) detektálásakor és a nagy csapadékok által keltett árvizek előrejelzésekor, valamint zivatarok esetén a csapadékkintenzitás és a kihullott teljes csapadékmennyiség meghatározásánál. (Szegei Cs., Dombai F., Csirmaz K., Németh P., 2014)



4. ábra. Egy zivatarlanc Magyarország keleti-északkeleti határánál (forrás:met.hu)

Csoportosítás

A radarokat kétféle szempontból is csoportosíthatjuk: elhelyezés és működési elv szerint. Elhelyezés szerint lehetnek földfelszínen rögzített és mobil radarok (repülőgépre, műholdra szerelve). Működési elv szerint megkülönböztetünk Doppler radart, polarizációs radart, akusztikus radart és lézerradart.

Doppler radar működése azon a fizikai elven alapul, hogy a kibocsátott és a visszavert jel közötti frekvenciakülönbségből meghatározható a visszaverő tárgy sebessége. A beérkező

és kibocsátott jel frekvenciája különbözik, de nem ezt, hanem a hullámok fázisát mérik meg úgy, hogy a kimenőjelet, mint referenciajelet tárolják, és ha visszajön a jel, megnézik a fáziseltolódást. Impulzusonként megnézik a fáziskülönbséget, ennek az időbeli változásnak az üteme arányos a sugár irányú sebességkomponenssel. A Doppler-radarrel meghatározható például az esőcseppek vízszintes irányú sebessége.

Duál-polarizációs radar működésekor, ahogyan a nevében is benne van, két adó-vevő rendszert alkalmaznak. A kisugárzott és a visszaverődő hullám polarizációjának változását mérik. Két egymásra merőleges (vízszintes és függőleges) síkban rezgő elektromágneses sugárzást bocsátanak ki. A különböző síkokban visszavert sugárzás intenzitása ismeretében alak és halmazállapot alapján szétválaszthatók a felhő- és csapadékelemek. A polarizációváltozás ismeretében a felhőt alkotó cseppek átlagos méretére, a méret és az alak jellemzőire, a részecskék térbeli orientációjára, térbeli eloszlására, halmazállapotára lehet következtetni. Hatósugaruk néhány tíz kilométer, viszonylag költségesek.

Akusztikus radarral a légkör azon tartományaiban is mérhető a levegő sebessége, amelyben nincsenek csapadékelemek.

A lézerradart (LIDAR= Light Intensity Detection and Ranging) a légkörben található aeroszolrészecskék megfigyelésére használják a látható vagy infratartományban (0,3-10 μm). (Geresdi I., 2004)

A magyarországi analóg radarhálózatot az 1980-as években telepítették (Farkasfa, Budapest, Napkor), majd a 90-es években automatizálással korszerűsítették (digitális radarképek). 2000-től kezdődően elkerülhetetlen lett radarok cseréje korszerű Doppler duál-polarizációs radarokra, 2004 óta Pogányváron, Budapesten és Napkoron teljesen azonos mérési programmal dolgozik a három radar. Az intenzitásadatok mellett lehetőség van Doppler mérések segítségével információkat szerezni az áramlási viszonyokról is. A mérések 240 km-es mérési határral zajlanak, 9 magassági szögben és 15 perces (régbben), ill. 10 perces (jelenleg) mérési ciklusokban, amikor készülnek intenzitás- és Doppler-mérések is, 30 km, 60 km, 120 km-es mérési határral. A kisebb hatósugárban készült mérés a csapadékeloszlás finomabb szerkezetét mutatja.

Az OMSZ időjárási radarhálózatában jelenleg minden egyes radar 10 percenként megismételi egy összetett mérési folyamatot, amelyek különböző méréshatárokon, magassági szögeken, különböző mérési paraméterekkel és mérési módokkal – intenzitás, Doppler, polarizáció – történik. A mérés befejezését követő percben az adatok Budapestre jutnak, és az adatgyűjtő program elkészíti az országos kompozit képet, ami a mérések kezdetét követő 10-12. percben már a felhasználók rendelkezésére is áll. A kompozit kép készítésével csökkenthető az egyes radarmérésekben rejlő hiányosságok hatása is, mint pl. a csapadék okozta gyengülés, mert korrigálódik a másik radar adataival. A hazai radarok egymástól mért távolsága 240-250 km, így majdnem teljes rálátást biztosítanak a szomszédos radar feletti térrészre. Az országos radartérkép 800 km x 500 km nagyságú területét a három radar jól lefedi. (Szegedi Cs., Dombai F., Csirmaz K., Németh P., 2014)

Ezeknek a méréseknek egymás utáni hurokfilmszerű megjelenítését találhatjuk meg az interneten, melynek segítségével tájékozódhatunk a csapadékrendszerek mozgásáról és fejlődéséről.

4. 2. 3. Egy gyakorlati alkalmazás

Tanulóim többségében Szekszárdon és környékén élnek, ezért fontos, hogy megismerkedjenek a jégesőelhárítási rendszerrel. Értsék meg a működési elvét, hogy ne nyerjenek náluk táptalajt az olyan téveszmék, hogy azért nincsen eső, mert fellövik a rakétát vagy működtetik a talajgenerátorokat. Későbbi szekszárdi szőlősgazdaként pedig ne legyen náluk kérdéses a jégeső elleni védekezés miatti terhek fennállásának létjogosultsága. A klímaváltozás hatásaként megfigyelhető, hogy a légköri felmelegedés következtében az

utóbbi évtizedben a jégesőképződés és a jégeső-gyakoriság felerősödött, egyre több védekezésre van szükség, ez is indokolja a jégeső-elhárítási rendszer létezését.

A NEFELA regionális jégeső-elhárítási rendszer a meteorológiai radar egy speciális alkalmazása a Dél-Dunántúlon. 1991-ben hozták létre az ország jégverés által legveszélyeztetettebb vidékei, Baranya, Somogy, Tolna megyék védelmére. Előtte, 1976-tól rakétás jégelhárítás működött a hatos úttól délre fekvő területeken. A radarállomás a Pécs közelében fekvő Hármashegy-en található, hatótávolsága 256 km. A radartérképek kiértékelése után innen riaszthatnak 141 generátorállomást a régió területén.

A jégeső-elhárítás úgy működik, hogy a talajon lévő készülékekből (talajgenerátorokból) kiáramló ezüstjodid (AgI) - kristályok a felhőkbe jutva meggátolják, hogy túl nagy jég szemek képződjenek. Az ezüstjodid-kristályok a vízpára számára kondenzációs magvaként működve elősegítik azt, hogy sok apró jégkristály jöjjön létre kevés, nagy jég szem helyett. Így a lehulló jég szemcsék kisebbek lesznek, vagy még a földet érés előtt elolvadnak, és nem tesznek kárt a mezőgazdasági kultúrákban. Átlagosan azt lehet mondani, hogy a technológia a kezdetben 2-3-4 cm-es jég szemek végső méretét megfelezi. A beavatkozást a zivatarok, érkező időjárási frontok előtt legalább 2 órával előbb meg kell kezdeni. Éves szinten egy generátor 200-250 órát üzemel. Általában az összes generátort bekapcsolják, de az aktuális időjárási helyzetnek megfelelően szakaszos üzemeltetést is alkalmaznak. A módszer hatékonyságát növeli, hogy a horvát jégeső-elhárítás szervesen kapcsolódik a védett területhez. 1997-ig 600 db generátort telepítettek a Dráva és a Száva közötti területre. *(forrás: nefela.hu)*

4. 3. A mérések elvégzése a gyakorlatban

Tanulóimmal ezt a témát a két szinten dolgoztam fel. A mérések fizikai hátterét csak felsőbb évfolyamos szakköröseim számára tudtam elmondani kellő részletességgel, mivel az elektromágneses hullámok a tizenegyedikes tananyagban kerülnek csak sorra. A fiatalabbaknak viszont, ha nem is ismerik a mérés teljes fizikai hátterét, remekül tudnak Magyarország térképén navigálni, ezáltal fejlődnek topográfiai ismereteik és felébred bennük egy egészséges vágy arra, hogy ők is megértsék a meteorológiai radarok működését. Járulékos ismereteik azonban nekik is vannak a radarokról, hiszen a gyerekek által preferált akció-, katasztrófa- és sci-fi-filmekben gyakran radarral keresnek repülőgépeket, hajókat, eltűnt tárgyakat.

Szakköri foglalkozásaimat majdnem mindig elektronikus táblával ellátott teremben tartom. Tanulóimmal megkeressük az OMSZ honlapját (met.hu), az aktuális időjárás legördülő listára kattintva elérhető a radartérkép. Megtalálhatjuk a három magyar radar által létrehozott animált kompozitképet és a szomszédos országok animált radarképeit is. A radartérképekről leolvasható a felhőrendszer időbeli és térbeli mozgása, a belőle hulló csapadék minősége és mennyisége és a zivatarzóna cellás szerkezete. Ilyen következtetések levonására a radarkép színezése ad segítséget. Régebben a részletesebb (átmeneti színárnyalatokat is tartalmazó) színskálához mm/h csapadékintenzitás értékeket rendeltek, ez jelent meg az aktuális radartérkép alján. A mostani, újabb színskála kék-zöld-világoszöld-sárga-barna-piros-sötétbordó színeken keresztül ábrázolja a csapadékszónák erősségét (nagyongyenge-gyenge-mérsékelt-közepes-erős-nagyonerős-felhőszakadás). A sötétkék képviseli az alacsonyabb intenzitású, szemerkélő csapadékot, a bordó a legintenzívebbet. Nagyobb intenzitásértékek főleg a nyári időszakban fordulnak elő a zivatarfelhőben, de a téli félévben sem lehetetlenek.

Az időjárási front érkezéséről tudomást szerezve, nincs más dolgunk, mint megmérni a front által megtett utat, egy meghatározott idő alatt. Az időt nagyon egyszerűen tudjuk „mérni”: régebben negyedóránként, mostanában tíz percenként új képet ad be a radar és ebből készül a

hosszabb idejű animáció. Háromféle sebességet lehet beállítani az egymást követő képek gyorsaságában és a képet lépésenként meg lehet állítani. Megjegyzendő, hogy a horvát és a cseh radar 15 perces, a szlovén 10 perces, míg a német radar 5 perces sűrűségű képeiből készülnek animációk. A távolságot a térképen két, egymástól ismert távolságban elhelyezkedő földrajzi objektum (pl. két folyó köze, vagy két hegyvonulat közötti távolság) között határozzuk meg, de vonalzó segítségével bármely két pont távolságát pontosan meg is mérhetjük és a térkép léptékarányát használva kilométerekre válthatjuk.

Néhány konkrét példa: Megmérjük, hogy a nyugat-keleti irányba mozgó front mennyi idő alatt teszi meg a Vág és a Garam folyók közötti távolságot, amely kb. 50 km Érsekújvár magasságában. A két adatból egyszerű számítással adódik a csapadékhóza sebessége. Ebből kiszámíthatjuk, hogy kb. mikorra érheti el Somoskő és Salgó várának térségébe, ahová éppen aznapra túrát terveztünk, vagy meddig tarthat Lillafüred-Bükkszentkereszti sétánk, ha nem akarjuk, hogy ránk törjön a vihar (ha csapadékhóza/front haladási iránya állandó).

Egy másik eset: Ha északnyugat-délkeleti pályán mozog a frontzóna, akkor a Fertő-tótól a Rába folyó vonaláig kb. 40-50 km a távolság, a Rábától a Balaton vonaláig pedig ugyanannyi, mint a Balatontól Szekszárdig (70-80 km), ezeket használhatjuk bázistávolságnak.

Harmadik eset: Nagyon gyakori a délnyugat-északkelet mozgási irányú csapadékhóza (mediterrán ciklonok esetén). Ezekben az esetekben bázistávolság lehet a fiúei tengerparttól a Száva vonaláig mért távolság (120-130 km), vagy Száva és Dráva folyók vonalának távolsága (kb. 100 km), amelyek segítségével a gyakorlatban használható hasznos információkhoz jutunk.



5. ábra. A környezetfizika szakkör tagjai munka közben

A szakkörben a gyakorlati kivitelezés úgy történt, hogy a számítógép képernyőjéről a közeledő front 10 illetve, 15 percenkénti fázisait/képkockáit a print screen billentyű segítségével lementettük, kinyomtattuk és a kinyomtatott képek segítségével végeztük el méréseinket a középiskolai földrajz atlasz felhasználásával.

A mérés trenírozása korábban lementett frontátvonulások képkockáival történt, s miután jártasságot szereztek a becslésben, azután tudták a tanulók „élesben” is alkalmazni a technikát. A módszer elsajátításának a vizsgája pedig szünidőben, otthon történik meg, amikor a tanuló, megbecsüli a front érkezésének idejét, és saját maga győződik meg arról, hogy mennyire válik be a tanult módszer.

Összefoglalás:

A téma kapcsán a tantárgyi koncentráció természetes módon megvalósítható, leginkább matematika, fizika és földrajz tantárgyakból a következő tudáselemeket felhasználva: földrajzból a térképeken domborzati képződmények, jellegzetes folyók, dombvonulatok felismerése, matematikából a távolságmérés, arány fogalma, fizikából pedig a közelítőleg egyenes vonalú egyenletes mozgás egyszerű sebesség és időszámítási képlete.

A módszer begyakorlásához és a más kollégák általi alkalmazást szem előtt tartva összeállítottam egy „Radararchívumot” képkockákra bontott frontátvonulásokról, azzal a célzattal, hogy a fentiekben leírtak, mások által is jól használható módszertani csomagot alkossanak. A mellékelt CD-n található anyag gyakorlatilag feladatgyűjteményként használható, található benne lassú és gyors mozgású csapadékszóna, valamint többféle haladási irányúak: ÉNY-DK, illetve DNY-ÉK irányba vonulók is. Úgy raktam össze az archívum elemeit, hogy az ország bármely részén élő és tanító kollégák találjanak tanulóik számára releváns területet. Fő front/csapadékszóna vonulási területként szerepel a Burgenland és Dunántúl, Balaton, Velencei-tó, Budapest és környéke, Délkelet-Magyarország, Vajdaság és Partium, illetve Északkelet-Magyarország és Felvidék.

„A csillagos ég az egész emberiség öröksége, amit ezért érintetlenül meg kell őrizni. ... A csillagos ég kapjon legalább annyi védelmet, mint amennyit a világörökség részét képező helyek kaptak a Földön.”

A Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) XIII. közgyűlésének (1997) egyik állásfoglalása

5. Fényszennyezésre vonatkozó vizsgálatok [7]

A céljainknak minél jobban megfelelő csillagászati megfigyelőhelyek keresése közben környezetfizika szakköröseimmel természetes módon beleütköztünk egy környezetvédelmi problémába, a fényszennyezés kérdéskörébe. Pedagógiai munkám során céлом az is, hogy elősegítsem a diákság környezettudatos szemléletének, magatartásának, életvitelének kialakulását. Fontosnak tartom a természeti és mesterséges környezet védelmét, tanulóimat is erre nevelem. Jó eszköznek kínálkozott erre az égi háttérfényesség-vizsgálat, amelyen keresztül a környezetszennyezés egy speciális formájával, a fényszennyezéssel találkozhattak diákjaim. Ez az a környezetszennyezési forma, amely a legolcsóbban megszüntethető. A mérőműszer működésének tanulmányozása közben, a fotometria alapfogalmainak megismerésével diákjaim fizikai ismeretei is tovább mélyültek

5. 1. Szakirodalmi áttekintés

5. 1. 1. A fényszennyezés fogalma

A környezetszennyezés fogalomkörébe ma már beletartozik a fényszennyezés is, azonban jelentéstartalma különbözik a többi szennyező hatásokétól. Érdemes először a szokásosan használt fogalmakat felidézni.

Szennyezésről a környezetvédelemben akkor beszélünk, ha valamilyen káros anyag mennyisége meghaladja az előre rögzített határértéket. A fény esetében ez a meghatározás két okból is nehezen alkalmazható, egyrészt, mert a fény nem káros anyag, másrészt mert nem létezik előre rögzített küszöbérték, amelynek meghaladását kellene figyelembe venni. Így ebben az esetben csupán fényterhelésről beszélhetünk. A fényszennyezés összetevőiként a következők szerepelnek: napnyugta utáni fény, mesterséges fényforrásból származó fény, valamint a zavaró fény, ami a fényforrás fényének azon része, amely nem a rendeltetésének megfelelő célt szolgál, a megvilágítandó felületen kívül esik: (pl. a szórt fény is ilyen). A nemzetközi gyakorlatban a fényszennyezésnek többféle meghatározása létezik és a figyelembe vett hatások is szerteágazóak.

Csehországban a következő meghatározást használják: fényszennyezés az olyan mesterséges fényforrásokból származó fény, amely kívül kerül azon a területen, amelyre szánták, különös tekintettel az olyan fényre, amely a horizont felé vagy feljebb irányul. Hazánkban a csehországihoz hasonló törvényt használunk a következő kiegészítéssel: fényszennyezésnek tekinthető az a megvilágítás is, amely az adott feladathoz szükséges világítási értéket többszörösen meghaladja. (Czakó Cs., 2011)

5. 1. 2. A fényszennyezés hatásai

A káros hatások következményeit alapul véve legtöbbször az ökológiai és asztronómiai fényszennyezésről hallhatunk, de nem hanyagolhatjuk el a hétköznapi életünkre kifejtett hatását sem. Az túlzott világítás következményeként jelentkező energiapazarlás gazdasági probléma, a tájkép sérülése esztétikai. Nem kis probléma az, ha a csillagászok kutatómunkáját zavarja a túl sok fény, de úgy gondoljuk, hogy ezt minden bizonnyal meghaladja az alábbiakban néhány példán bemutatott, a fényszennyezés által a biológiai környezetre gyakorolt veszélyeztető hatás.

5. 1. 2. 1. A fényszennyezés ökológiai hatása

A természetes fény helyzetét, vagy változásának ritmusát megzavaró mesterséges fények sok bajt okozhatnak az időben és térben fény szerint tájékozódó állatok életében. A következőkben ezekből gyűjtöttünk össze néhányat.

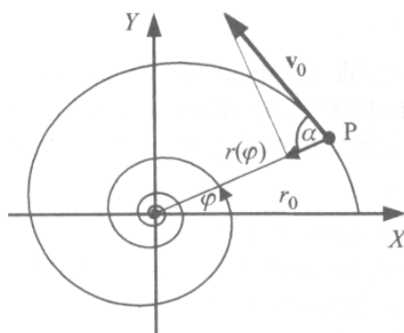
A vándormadarak éjszaka a csillagok alapján tájékozódnak, a nagy háttérfényesség miatt azonban a csillagok gyakran nem jól látszanak, illetve a madarak a horizont közelében lévő erős mesterséges fényeket is csillagoknak nézhetik, így eltévedhetnek. Gyakran bekövetkezik az is, hogy erősen megvilágított terület fölé érve, úgy érzékelik, hogy nappal van és leszállnak, viszont táplálékot nem találnak a területen, így a kimerültségtől nem tudnak továbbrepülni. (Szomráki P., 2007)

A sötét környezethez képest a mesterséges éjszakai fények meglepően nagy intenzitásúak, ezért vonzzák, vagy taszítják az állatokat. Ezt a jelenséget nevezzük *pozitív vagy negatív fototaxisnak*. Nagy veszélyt jelentenek a madarak számára a kivilágított toronyházak, vagy tengerparti országok esetén a világítótornyok. A környezetvédelmi szakirodalomban gyakran olvasható, hogy sok madár pusztul el, mert nekiröpül ezeknek az objektumoknak.

A vonzás, azaz a csapdahatás különösen a rovarokra veszélyes, mert sok rovarfaj a mozgását a Hold helyzetéhez viszonyítva irányítja. Tapasztalati tény, hogy az éjjel repülő rovarok vonzódnak a mesterséges fényhez. Mi az oka, hogy ezek a rovarok a fényre repülnek? A *Buddenbrook* fényiránytű elmélet (1937) szerint a rovarok éjszakai tájékozódásukhoz fényforrásokat használnak. A rovarok azért kerülnek csapdahelyzetbe, mert a mesterséges fényt összetévesztik a holdfénnel. Az éjszakai rovarok a Holdhoz állandó szögben repülve tartják az egyenes irányt. Az égitest a rovarok számára „végtelen” távoli, így a róla érkező párhuzamos fénysugarakkal állandó szöget bezáró repülési pálya egyenes vonal. Ha a rovar a Holdat valamilyen földi mesterséges fényforrással helyettesíti, akkor a fényforráshoz húzott sugárhoz képest tartja állandó szögben repülését és így letér az egyenes pályáról, spirális mozgást végez és egyre szűkülő keringéssel a lámpatestre zuhan és elpusztul. Belátható, hogy ilyenkor a rovarok pályája logaritmikus spirális. A pálya alakjának pontos leírása középiskolai matematikával nem lehetséges, számítógéppel azonban kirajzoltatható. Néhány egyszerű kérdés azonban pusztán kinematikai ismeretekre támaszkodva is megválaszolható, és jobb tanulócsoportokban motiváló erejű lehet a sebesség vektorjellegének tartalmi megismerésére.

Érdemes középiskolában a következő feladatot tehetséggondozó oktatási formában (például fizika fakultáción vagy szakkörön) megoldani: Egy rovar v sebességgel és a Hold irányához képest α szögben repül, majd az utcai lámpától r távolságban a Holdat a lámpával helyettesíti. Mennyi idő alatt repül bele a lámpába, és mekkora utat tesz meg ezalatt?

Készítsünk ábrát a feladat szemléltetésére: Modellünkben a lámpa az origóban van, a rovar helyét a P pont szimbolizálja:



1. ábra. A logaritmikusspirál pálya (Tasnádi P., Skrapits L., Bérczes Gy., 2004)

A $v = \text{állandó}$ nagyságú sebességgel haladó repülő rovarnak a lámpa irányába eső sebességkomponense állandó:

$$v_l = v \cdot \cos \alpha.$$

Így a rovar a lámpához

$$t = \frac{r}{v \cdot \cos \alpha}$$

idő alatt jut el. Ezalatt

$$s = v \cdot t = v \cdot \frac{r}{v \cdot \cos \alpha},$$

$$s = \frac{r}{\cos \alpha}$$

utat tesz meg. (Tasnádi P., Skrapits L., Bérczes Gy., 2004)

A feladat megoldása látszólag egyszerű, azonban fogalmilag nagyon nehéz. A tanulók számára gondot okoz, hogy a görbevonalú pályán mozgó test adott pont felé történő állandó sebességű mozgását megértsék.

Taszítóhatás (*negatív fototaxis*) is érvényesülhet bizonyos állatfajoknál, például madaraknál. Ezek a madarak, ha tehetik, akkor fénytől távolabbi helyet választanak fészkelő helyül, ezáltal csökken az életterük és esetleg távolabb kerülnek attól a területtől, ahol a táplálékukat szerzik be, így fiókáikat több fáradsággal tudják felnevelni.

A mesterséges fények megzavarhatják bizonyos fajok egyedeinek egymás közti kommunikációját. Közismert ez a tény a szentjánosbogarak esetében. Még inkább veszélyes az, ha a zavaró hatás ivar szerint is szeparál. A mesterséges fény eltéríti az egyedeket szaporodó partnerüktől, természetes élő- és táplálkozási helyüktől. Amikor fénycsapdába kerülve nagy tömegben keringenek a fényforrás körül, megjelennek a velük táplálkozó madarak és egyéb állatok. Például Belgiumban egy kivilágított autópálya nemcsak a rovarokat, hanem a rájuk vadászó ragadozókat is veszélyeztet.

A tengeri teknősök szaporodását is megzavarja a túlzott tengerparti kivilágítás, ugyanis a kikelő egyedek nem a megszokott módon, a tenger által visszavert holdfényhez tájolózzák mozgásukat, nem a tenger irányába indulnak el, hanem a fényben úszó tengerparti szórakozóhelyek felé és így elpusztulnak.

Az állatvilág egyedei két dologhoz igazítják az életritmusukat: a napszakok váltakozásához, ezt nevezzük cirkadiális ritmusnak, valamint az évszakok váltakozásához, ez pedig a cirkannuális ritmus. Az állatok a túlzott kivilágítás következtében, hogy a nappalokat hosszabbnak, az éjszakákat rövidebbnek érzékelik. Ennek következtében a megszokott módon, nappal aktív fajok még a késő esti órákban is táplálékot keresnek, pihenőidejük lerövidül, ami a legyengülésükhöz vezethet. Például a vörösbegy, amely normál körülmények között csak alkonyatkor dalol, a nagyvárosokban egész éjjel énekel. (Czakó Cs., 2011)

Az állatok az esztendő körforgását elsősorban a nappalok és éjszakák hosszának változásából érzékelik, ezt a fajok által érzékelt időtartamot változtatja meg a túlzott mesterséges kivilágítás, és így másként észlelik az évszakokat. Például a városi fényben élő, nem költöző madarak a megszokott időnél korábban, hűvösebb időben költenek, ezért fiókáik nagyobb arányban pusztulnak el, mint a sötétebb területeken élő madaraké.

5. 1. 2. 2. A fényszennyezés egyéb hatásai

Szóltunk már a zavartalan csillagos ég szépségéről! Fényszennyezés-mentes helyről, az átlagos szemű ember akár 3000 csillagot is megfigyelhet szabad szemmel, ezzel szemben a nagyvárosok felett már csak a legfényesebb égitestek láthatók. A csillagok „eltűnnek” a városi égről, nem is beszélve az ott láthatatlan Tejútról. Nagyon sok városi gyermek úgy nő fel, hogy sohasem látja a Tejutat. A csillagos égbolt hozzátartozik az esti panorámához, a táj képéhez, kötelességünk olyan állapotban megőrizni, ahogyan elődeink is látták. „A nagyvárosokban, azok környékén, vagy az iparvidékeken élő milliók számára ismeretlen az éjszakai sötét ég látványa.” Magyarország lakosságának kb. 40 %-a még tiszta időben sem láthatja a Tejutat, felének pedig olyan az éjszakai égboltja, hogy nagyobb a háttérfényessége, mint egy teleholdas éjszakáé. (Dr. Kolláth Z., 2003)

A túlzott világítás közvetlen hatásai közül két tényezőt kell megemlítenünk, a káprázást és az emberek pihenésének megzavarását. Mindenki ismeri a jelenséget, hogy ha erős fényforrásba nézünk, akkor negatív utóképet látunk, ez a káprázás gyakorlati megvalósulása, amely jelenség gépjárművezetéskor igen veszélyes. Káprázást okozhat például egy szembe jövő autó reflektora, vagy a még vagy már eléggé fényes lenyugvó, illetve kelő Nap.

A túl sok éjszakai fény felborítja a bioritmusunkat, hosszú távon akár rosszindulatú daganatok kialakulásának kockázatát is megnövelheti. Az éjszakai zavaró fény ugyanis gátolja a tobozmirigy által a melatonin nevű hormon termelődését, amely az éjszakai pihenés során termelődne a szervezetben, és antioxidáns hatása miatt gátolja a rákos sejtek képződését. Ezt a védő mechanizmust rontja a zavaró éjszakai fény. (Varró M. J. dr.)

Az emberek egyre jobb anyagi helyzete és az egyre olcsóbban előállítható fény, magánembereket is arra késztet, hogy nem törődve a természettel és esetlegesen a szomszédban lakókkal sem, saját ingatlanuk határán túlnyúló fényáradattal világítsák ki környezetüket. Ez a világítási túlkapás különösen télen, a karácsonyi ünnepek előtt és után figyelhető meg.

A fizikai hatások mellett súlyosak a mentális hatások is, Konrad Lorenz a következőkre mutatott rá: „A természettől való általános, egyre fokozódó elidegenedés nagymértékben okolható a civilizált emberiség esztétikai és etikai eldurvulásáért. A felnövekvő generáció hogyan is tanulna meg a természet tiszteletét, ha maga körül csak emberkéz alkotta környezetet talál? A nagyvárosokban még a csillagos eget is elrejtik előle a toronyházak és a lég(fény)szennyezés...” (K. Lorenz, 1994)

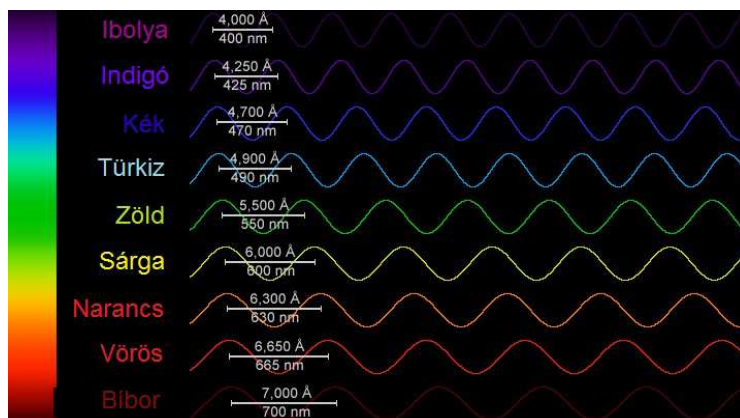
A felesleges megvilágításhoz szükséges energia előállítása pazarlást jelent, hiszen ennek az energiának az előállítása felesleges pénzkidobás. A fényszennyezés csökkentését tekintve, ebből a megközelítésből nézve az energiaszolgáltatók és a környezetvédők érdekei azonosak. „Odafentről (a világúrból) nézve világosan látható, hogy ez (a túlzott kivilágítás) a

fosszilis és atomenergia céltalan pazarlása, ami ráadásul elnyomja a kozmoszból a Földre érkező gyenge sugárzást is. A fényszennyezés elleni fellépésben a gazdaság érdeke teljesen egybeesik a tudományéval. Egyszerű szabály, hogy a fényt a megvilágítandó tárgy felé kell irányítani, amivel nemcsak energiát lehet megtakarítani, hanem az égbolt eredeti látványa is megőrizhető. Csupán ennek a fizikai szabálynak közigazgatási szabályként való alkalmazását kell elérni. Az IAU méltányolja és támogatja ennek a gondnak a tudatosítására és megoldására irányuló valamennyi nemzeti és helyi kezdeményezést. ” (IAU, *Information Bulletin* 83.szám)

5. 1. 3. A fényszennyezés keletkezésének fizikája

A földfelszínről a légkörbe jutó fénysugarak az égbolt „kifényesedését” okozzák. Ennek fizikai oka a fényszóródás jelensége. Az éjszakai ég fénylését a levegő molekuláin, illetve a levegőben található aeroszol részecskékről szóródó fény okozza. Légköri aeroszoknak nevezzük a levegőben diszpergált szilárd vagy cseppfolyós részecskék összességét. Az aeroszol részecskék mérete a levegőmolekulák átlagos méreténél legalább egy nagyságrenddel nagyobb. Ködről akkor beszélünk, ha a légköri vízgőz kicsapódásának következtében, igen apró, 0,5 mm-nél kisebb átmérőjű folyadékcseppek vannak jelen. A köd szemcsék fényszórása következtében a látótávolság 1 km alá csökken.

A fényszóródás többféleképpen is létrejöhet. Ha a fényhullámhossznál több nagyságrenddel kisebb méretű atomokon, molekulákon szóródik a fény, akkor molekuláris vagy *Rayleigh*-szórásról van szó, ha pedig a fényhullámhossz nagyságrendjének megfelelő méretű szemcséken történik a szórás (aeroszoloKnál), akkor *Mie*-szórásról beszélünk.



2. ábra. A látható fény hullámhosszai (forrás: internet)

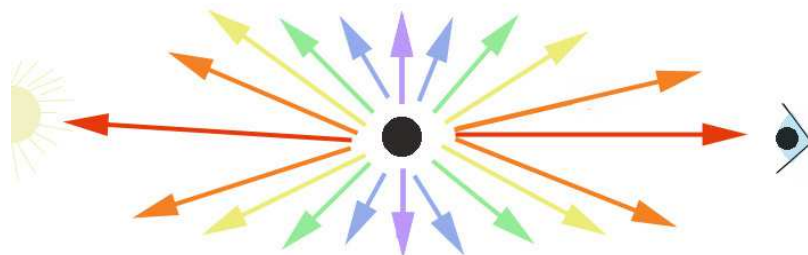
A *Rayleigh*-szórás esetén a fényszóródás mértéke függ a hullámhossztól. A szórt fény intenzitásának szögeloszlását és az intenzitás hullámhosszfüggését megadó képletből látható az intenzitásnak a hullámhossztól való nagymértékű függése (a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos).

$$I_{\vartheta} \approx I_0 \pi^2 (1 + \cos^2 \vartheta) (n^2 - 1) \frac{V^2}{2r^2 \lambda^4} ,$$

ahol V a részecske térfogata, ϑ a szórási szög, λ a hullámhossz, r a szóró részecskétől való távolság.

Ez az oka például az égbolt kék színének is. A Napból érkező sugarak közül ugyanis a kék komponens rövidebb hullámhossza miatt sokkal erősebben szóródik, mint a vörös. A

lenyugvó, ill. felkelő Nap esetében tapasztalható vöröses árnyalat úgy jön létre, hogy a kék fénynek az eredeti iránytól való nagyobb mértékű kiszóródása miatt a vörös komponensek maradnak meg.



3. ábra. A Rayleigh-szórás irányfüggése (forrás: internet)

Ha a részecskék mérete összemérhető a fény hullámhosszával, akkor a fény szóródásának hullámhosszfüggése megszűnik és létrejön a *Mie-szórás*.

A levegőben lévő vízcseppek mérete igen széles határok között változhat 0,01 mikrométertől 100 mikrométerig. A kb. 0,5 mikrométernél kisebb sugarú cseppek erősebben szórják a rövidebb hullámokat, tehát hozzájárulnak a szórt fény kék színéhez. Ha azonban nagyobb cseppek is vannak a levegőben (pára, köd, felhő), akkor ez a szelektivitás eltűnik, a szórt fény fehérré válik. Ekkor az ég kék színe fehéressé válik (a párából), vagy szürkés-fehéres színű felhő, ill. köd jelenik meg. Extra nagyméretű részecskéken pl. erdőtűzből származó gyantacseppek által alkotott aeroszolon történő szóródás az ég színét zöldeskékké teheti. (Rajkovics Zs., Illy J., 2001)

5. 2. A projektmunka

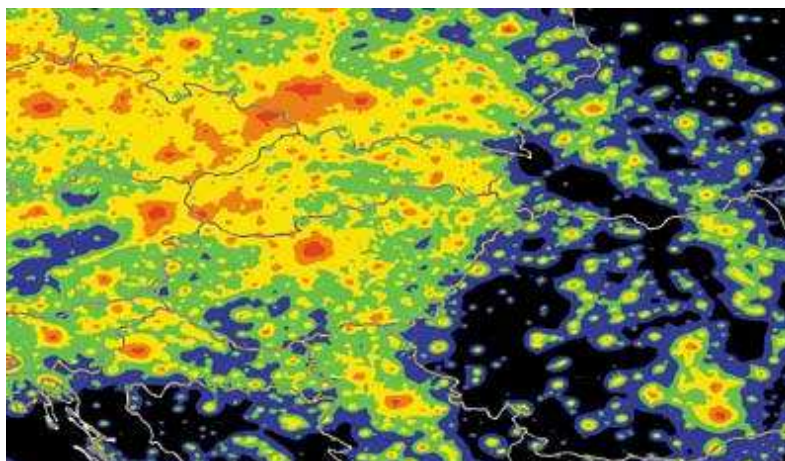
5. 2. 1. A motiváció

A Zselici Tájvédelmi Körzet 2009. november 16-án Európában elsőként elnyerte a „Nemzetközi csillagoségbolt-park (International Dark Sky Park)” minősítést. A címet a Nemzetközi Csillagoségbolt Szövetség alapította, annak a felismerésnek nyomán, hogy a Földön egyre kevesebb helyről élvezhetjük teljes pompájában a csillagos égbolt szépségét. Száz éve még minden gyermek természetes tapasztalatként érzékelte a Tejutat, a hullócsillagokat és a csillagképeket, ezekre a tapasztalatokra azonban ma már csak a „fényszennyezés-mentes” tájakra szervezett túrákon tehetünk szert. Néhány lelkes diákkal azt kívántuk megvizsgálni és mérésekkel objektíven alátámasztani, hogy vajon gimnáziumunk, a Szekszárdi Garay János Gimnázium környékén, Tolna megye területén, vannak-e a zselicihez hasonló szépségű égboltot mutató tájak. A munkát segítette, hogy Gimnáziumunkban több éve sikeresen pályázunk az Útravaló Ösztöndíjprogram Út a tudományhoz alprogramjának keretében megvalósítható mikrokutatásokra és az ezekhez szükséges anyagi támogatásra. Legutóbbi kutatási programunk keretében („Fényképezés asztrofotós mechanikával”), egy jó minőségű asztrofotós állványhoz (EQ-6) jutottunk hozzá, melynek segítségével különféle égi objektumokról magasabb esztétikai igényű és tudományos értékű fotókat készíthettünk. A részletdús képek előállításához sötét égboltú helyeket kellett keresnünk, ugyanis minél jobb minőségű az ég, annál hosszabb expozíciós idejű felvételeket lehet készíteni, és annál több

részlet jön elő a képen. Égi háttérfényesség méréseinket ilyen helyek felderítése céljából kezdtük el.

5. 2. 2. Hipotézis felállítása

Kutatásaink közben az interneten találtunk egy olyan térképet, amely Magyarország fényszennyezési viszonyait mutatja be (4. ábra).



4. ábra. Magyarország fényszennyezését bemutató térkép (forrás: internet)

Jól megfigyelhető rajta a két csillagos-ég nemzeti park: Zselic és Hortobágy, valamint hasonlóan tiszta egű területként az illancsi homokpuszta, és méréseink tárgya, a tolnai Hegyhát.

Minél világosabb színt mutat a térkép, annál fényesebb az égi háttér, illetve minél sötétebb a szín, annál jobb minőségű (sötétebb) égbolttal rendelkezik a terület. A színezésből leolvastuk, hogy a két magyarországi csillagos-ég nemzeti park (Zselic és Hortobágy) égboltjához közelítő minőségű égboltja lehet a Tolna megyei Hegyhátnak is. Ezt a hipotézist akartunk meggyőzően igazolni, ezért méréseket végeztünk.

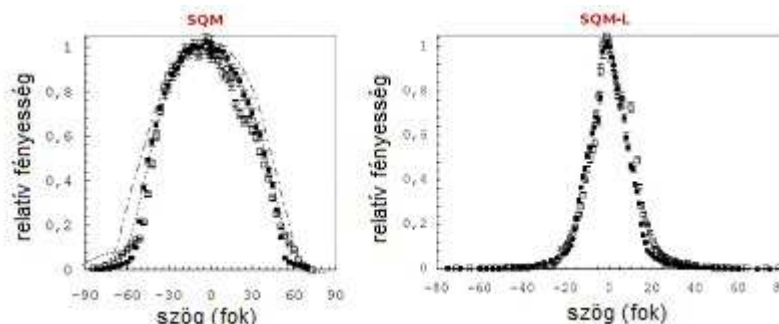
5. 2. 3. A mérőeszköz

Méréseinkhez egy érzékeny hordozható fotométert (5. ábra) szereztünk be, amely a vidéki éjszakai ég gyenge éjszakai háttérfényességét is képes mérni. Az UNIHEDRON gyártmányú SQM (Sky Quality Meter) égbolt minőség mérő műszert erre a célra alakították ki, és az egész világon ezt használják a fényszennyezés monitorozására. Fizikai elve a fénysűrűség-mérés. Az egyszerű felépítésű, kis helyet elfoglaló eszközt Magyarországon 2007 óta használják az éjszakai égbolt háttérfényességének mérésére.



5. ábra. A fényszennyezésmérő készülék (forrás: www.unihedron.com)

A mérőműszernek két típusát használják a gyakorlatban, az SQM és az SQM-L jelzésű készüléket. A kétfajta eszközt az különbözteti meg egymástól, hogy mekkora térszögből gyűjtik össze a fénysugarakat. Az SQM készülék nagyobb térszögből (1,5 szteradián, ami kb. egy 42 fokos félnyílásszögű kúpnak felel meg) méri és átlagolja a beérkező fénymennyiség fénysűrűség értékét, míg az L jellel ellátott műszer (L=lencsés) kisebb térszögben dolgozik (20 fokos félnyílásszögű kúp).



6. ábra. A fénygyűjtési térszögek összehasonlítása (forrás: www.unihedron.com)

Ezt a második megoldású (SQM-L) készüléket választottuk a méréshez, hogy a Szekszárd város közelsége miatt a horizonton megjelenő közeli zavaró fények hatását minél inkább kiküszöböljük. A mért fénysűrűségek mértékegysége a csillagászati jellegű magnitúdó per szögmásodpercnégyzet ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), amely könnyen átszámítható cd/m^2 -re, (SI mértékegység) a következő formula segítségével:

$$\text{Érték}(\text{cd} / \text{m}^2) = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-0,4[\text{érték}(\text{mag} / \text{arcsec}^2)]}$$

A műszer pontossága $0,1 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$. (forrás: www.unihedron.com)

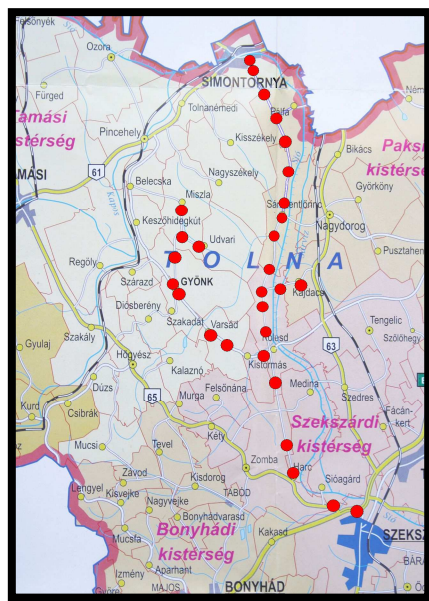
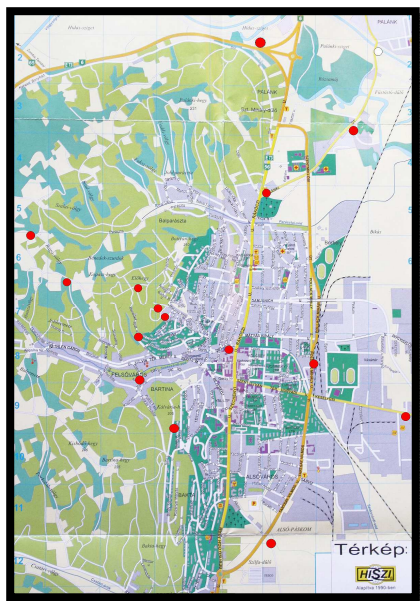
5. 2. 4. A méréssorozat

A méréshez szükséges kedvező körülmények összetettek. A mérés akkor kezdődhet, ha holdmentes, derült éjszaka van, és a Nap már 18 fokkal a horizont alá kerül, és addig tarthat, míg a Nap az éjszakai útja folyamán újra 18 fokra meg nem közelíti a horizontot. Amennyire lehetséges a mesterséges fényforrások közelségét kerülni kell. Városon belüli méréseknél természetesen ezt nem mindig sikerül tökéletesen betartani. Kerülendők még az olyan helyek is, ahol tereptárgyak (pl. fák) zavarhatják a műszer detektorát. A mérések során a műszert a zenit felé irányítva elvégzünk öt mérést, amelyekből a feldolgozáskor az első kettőt figyelmen kívül hagyjuk (a műszer bemelegedése miatt ezek pontatlanabb értékek), a maradék hármat pedig átlagoljuk. A mérések helyszínének koordinátáit GPS készülékkel határozzuk meg.



7. ábra. A környezetfizika szakkör tagjai mérés közben

A mérőeszköz hitelesítése, már kalibrált, tehát pontos értékeket mérő SQM-készülékek segítségével történt a Bácskai-homokhátságon, Illancs területén (amely terület nagyon jó közelítéssel fényszennyezés-mentes). Bebizonyosodott, hogy műszerünk hibahatáron belül mér, korrekcióra nincs szükség. Méréseinket Szekszárd város egymástól viszonylag távol eső pontjain végeztük, mértük az éjszakai ég háttérfényességét, majd a szőlődombok közötti gyalogos éjszakai túrák alkalmával Szekszárd közvetlen környezetét is feltérképeztük. Több alkalommal, különféle útvonalakon, gépkocsival bejártuk a hegyháti területeket és útközben több ponton megállva mértünk.



8. ábra. Mérésünk helyszínei Szekszárdon és a Hegyháton (piros pöttyökkel jelölve a térképeken)

A nyári szünetben elvégzett méréseinket több tényező is nehezítette. Elsőként említem a természeti tényezőket: az időjárás kiszámíthatatlanságát, a Nap késői nyugvási és korai kelési időpontját, utóbbiak miatt a mérést gyakorlatilag csak az éjszaka közepén végezhattük. Mindezek mellett a diákok egyéb nyári elfoglaltságai, családi nyaralások miatti elutazásai is hátráltatták a munkát, továbbá az a tényező is, hogy a megye távolabb fekvő területeire csak személygépkocsival lehetett eljutni.

5. 2. 5. Hipotézisünk igazolása, eredményeink

Az alábbi számadatok bizonyítják, hogy a Zselici, ill. Hortobágyi Csillagos-ég Parkokhoz hasonló minőségű éjszakai égbolt található környékünkön, a tolna megyei Hegyháton is.

A mért területek	SQM-érték
Szekszárd (a központi részek nélkül) területének átlaga	20,4
Szekszárd szőlődombok felőli széle	20,6
Szekszárd, szőlődombok között mért értékek átlaga	21,0
SQM-értékek a Hortobágyi Csillagos égbolt - park területén	21,0 - 21,5
Az Illancs területén végzett egész éjszakás észlelés SQM értékei	21,0 - 21,5
Hegyhát területén mért értékek átlaga	21,1

9. ábra. Mérési eredményeink táblázatos összefoglalása

A fizikai mérési eredménynél azonban fontosabbnak érzem a pedagógiai eredményt. Tanulóinkban felébredt az igény a mérések folytatására. A szakirodalomból ismeretes, hogy halszemoptikával készült éjszakai égboltfelvételek segítségével kiegészíthetők és tovább pontosíthatók az SQM mérési adatok. Ennek érdekében halszemobjektívvel fogunk felvételeket készíteni a hegyhádi területekről. Méréseink befejezését követően 2014 nyarán lezajlott a közvilágítási fényforrások cseréje Szekszárdon. Izgalmas téma lesz újra végigmérni a városi és városkörnyéki helyszínekről az éjszakai égbolt háttérfényességét.

Összefoglalás:

A fényszennyezés témaköre kiváló projektfeladatnak bizonyult. Fizikából a fotometria és a fényszóródás alapfogalmainak megismerésén túl, alkalmas volt a biológiával és matematikával való tantárgyi koncentráció megvalósítására, a tanulók környezettudatos magatartásának erősítésére és nem utolsósorban komoly pedagógiai eredményként könyvelhető el a mérést végző kis csapat összekovácsolódása, lelkesedése és a „játszva” tanulás örömeinek megismerése.

III. rész

A kutatási eredmények hasznosulása

6. Motiváció és tehetséggondozás [4] [5]

6. 1. A motivációról

A középiskolás diákok többsége nem szereti a természettudományos tárgyakat, így a fizikát sem. Megkérdezve őket, hogy miért nem szeretik a tantárgyat, azt válaszolják, hogy mert nehéz. És hogy miért nehéz? Mert sok a jel, a képlet és a számolás, száraz, bonyolult, ezért nehéz megérteni, nem elég a fogalmakat tudni, egymásra épülnek az ismeretek, sok idő kell a megértéséhez, állandóan valami csavar van a feladatokban, összetett, logikus gondolkodást igényel – válaszolják a tanulók. Az antipátia oka az is, hogy a tankönyvek túlságosan elméletiesek és a tárgyalt témák messze esnek a mindennapi gyakorlattól. Másik ok, hogy a tankönyvek nem naprakészek, hiszen a tudományos eredmények és technikai alkalmazásaik száma rohamosan növekszik. Azért, hogy a tanulók érdeklődését visszaszerezzük, alapvető célunknak kell lenni, hogy találjunk olyan feladatokat, amelyek a valós élethez kapcsolódnak. Véleményem szerint a légkörfizika és a csillagászat, a fizika azon ágai, amelyek egy csomó lehetőséget adnak arra, hogy izgalmas és valódi szituációkban alkalmazzuk a fizika törvényeit. Sok kész anyagot találhatunk ezekkel kapcsolatosan az interneten (jó felvételek és animációk), de viszonylag könnyű bárkinek saját magának anyagot, fotót vagy videofelvételt készítenie. Ezek a témák alkalmasak a projektmunkában történő feldolgozásra is, amely a korszerű oktatásszervezési formák egyike.

A tanulók motiválásának szerepe egyre nagyobb figyelmet kap a pedagógiában. Közismert tény, hogy a gyenge motiváltság következménye nagyon gyakran az alacsony teljesítmény. Az azonban nem teljesen világos a pedagógustársadalom számára, hogy hogyan és miért alakul ki a gyenge motiváltság a diákság bizonyos rétegeiben, annyi azonban sejthető, hogy ezek az okok nagyon szerteágazóak és messze túlmutatnak az oktatás keretein. Azonban ezek a kérdések nagyon fontosak azon természettudományos tantárgyakat tanító tanárok számára, akik javítani szeretnének tanulóik motiváltságán.

Nézzük meg pontosan mi is az a motiváció? A motiváció egy belső állapot, amely életben tartja a tanulók sikerorientált viselkedését. A természettudományok tanulási motivációjának tanulmányozásakor a kutatók azt vizsgálták, hogy miért akarnak egyes diákok intenzíven természettudományt tanulni (és mások pedig nem). (Glynn, Koballa, 2006)

Glynn vizsgálata rámutat, hogy a motiváció egyik legfontosabb komponense a **belső motiváció**, ami a természettudomány önmagáért, a tudományterület belső szépségéért történő tanulását jelenti. Tehát nekünk, pedagógusoknak azt kell elérnünk, hogy ezt a belső szépséget meg tudjuk mutatni tanulóink számára.

A tanulók motivációjának javítására történtek központi intézkedések. A tantervi reformok, valamint a tanítási módszertan korszerűsödése mind ezt a célt szolgálta. A természettudományokat tanító tanárok egyetértenek abban, hogy ezeket a tárgyakat olyan módon kellene tanítani, hogy minél közelebb kellene hozni a mindennapi élethez. A másik motiváló tényező lehet interdiszciplináris projektfeladatok elvégztetése. Ezek lehetnek azok a dolgok, amelyek a tanulók aktivitását hatékonyan képesek növelni, illetve segítik az értelmes, gondolkodva tanulásukat.

Személyes tapasztalatom, hogy amióta a diákok figyelme a fizika szemszögéből nincsen ráirányítva a világra, nem is veszik észre a körülöttük lévő természeti jelenségeket és a bennük rejlő fizikát.

Az első és legfontosabb lépés egy bizonyos jelenség kutatásának keretében egy olyan modell megalkotása, amely képes megmagyarázni vagy leírni a jelenséget fizikai törvények

segítségével. A projektfeladatokban a diákok gyakran ütköznek bele nyitott kérdésekbe, amelyek arra készítetik őket, hogy közelebbről tanulmányozzák a problémát vagy végezzenek el további vizsgálatokat. Tehát, a fizikai törvények mélyebb megértéséhez sikeres módszer lehet a fizika közelítése a mindennapi élet jelenségeihez és a tanulói attitűd is javulhat általa.

6. 2. A fizikai tehetség mibenléte

Arra a kérdésre, hogy ki a tehetséges, a kutatók eltérő válaszokat adnak. Annak kritériumait, hogy fizikából ki a tehetséges, csak több oldalról való megvilágítás után tudjuk kiszűrni. A fizikában a tehetségeknek egy komplex képességrendszer birtokában kell a lenniük, amely kapcsolatba hozható az általános tehetséggel, de speciális gondolkodási képességeket is feltételez.

Fizikából tehetséges az, aki rendelkezik

(1) az általános tehetség ismérveivel: gyors gondolkodású, kíváncsi, tájékozott, fantáziadús, ötletei vannak, korának megfelelő önállósággal rendelkezik, szereti a kihívást, van önbizalma és jó memóriája, képes az elmélyült munkára.

(2) és a fizikához szükséges speciális képességekkel: megfelelő tanulási technikája van, logikusan gondolkodik, képes rendszerben gondolkodni, kreatív, intuitív, jó számolási képességgel rendelkezik, képes a koncentrációra, tud elvontan gondolkodni, van türelme a problémamegoldáshoz, kitartó a munkájában, a tanultakat következetesen alkalmazza.

Mindezekon felül, a tantárgy jelenlegi többségi megítélése miatt nem zavarja, ha kisebbségben van. A tanulók többségénél nincs meg minden tehetségjegy, egy-egy diáknál részterületek vannak meg. Tekintsük át azokat a részterületeket, rész képességeket, amelyekkel egy fizikában tehetséges tanuló rendelkezhet:

1. A tanulásban tehetségesek
2. A gondolkodásban tehetségesek
3. A matematikai képességekben tehetségesek
4. A gyakorlati tevékenységben tehetségesek
5. Az eszközkészítésben tehetségesek

Gyakorlati szempontból az fog a tehetséggondozás alanyává válni, akit fizikatanárként tehetségesnek látunk és sikerül együttműködésre bírni. De lehet olyan is, aki annyira motivált, hogy maga jelentkezik, még habár szerintünk nem is annyira tehetséges. (*Kirsch É., Dudics P., Balogh L., 2010*)

A környezetfizika szakkör tagjaira talán legjobban a gyakorlati tevékenységben való tehetség a jellemző. Munkánk során a gyakorlati kutatások egyszerű modelljét követtük. Megfigyelési tervet állítottunk fel, használtunk műszereket, mértük a kérdéses adatokat, számítógépes vagy manuális feldolgozás után megnéztük, hogy a kapott eredmény hogyan illeszkedik az elmélethez.

6. 3. Motiváció és tehetséggondozás a gyakorlatban

Tehetséggondozó környezetfizika szakköröm 2009 óta működik a Garay János Gimnáziumban. Bár iskolánkban működik matematika-fizika emelt óraszámú osztály, érdeklődő tanulóim általában nem onnan (13,6%), hanem a természettudományos, a nyelvi, humán és hat/nyolc osztályos képzési formában résztvevőkből kerülnek ki (86,4%).

Matematika-fizika	Természettudományos	Nyelvi	Humán	Hat/nyolc osztályos gimnázium
3 fő	4 fő	5 fő	2 fő	8 fő

1. ábra. Kimutatás a szakköri tagok fakultációiról

Az azonos érdeklődésű tanulók csoportba szerveződését két külső tényező segítette elő: az egyik a 2009. február 12-én bekövetkezett komplex halójelenség (amelyet egész Magyarország területéről meg lehetett figyelni) és az a tény, hogy a 2009-es esztendő a Csillagászat Nemzetközi Éve volt, amikor sok csillagászatot népszerűsítő esemény zajlott az egész országban.

A környezetfizika szakkör tudományos igényű eszközparkjának hosszú évek alatt történő kiépülése **tudatos tervezőmunka** eredménye, melyet az alábbiakban mutatok be. 2007 őszén a gimnáziumhoz kerülve, először a fizikaszertárral ismerkedtem meg. Felfedeztem a szertár mélyén porosodó közel száz éves, 2,5 inches lencsés távcsövet, amelyet a gyakorlatban is kipróbáltam, így megismertem minden hibájával együtt. Az állványzat ki volt száradva, ezért nem volt stabil, a távcső objektívje pedig a rendelkezésre álló okulárokkal nagyon szűk látómezt adott („csörlátás”). Ezek után hamar rájöttem, hogy korszerű, könnyen kezelhető eszközökre lenne szüksége a tanulóknak, ezért megterveztem, hogy milyen eszközöket szerezzünk be, majd pályázati lehetőségeket kerestem hozzá. Abban az időben indult országosan, az ÚT pályázat keretében, az Út a tudományhoz ösztöndíjprogram, amelynek célja a természettudományok népszerűsítése a középiskolás diákok körében. A kutatásvezető tanárnak egy maximálisan ötfős középiskolai kutatócsoport számára meg kell írni egy hónapokra és személyekre lebontott kutatási tervet, melyhez szükséges eszközök a pályázatból finanszírozhatók és a tanulók a keretből ösztöndíjat is kapnak. Első pályázati évünkben egy modern, stabil mechanikával, elektronikus vezérléssel és a Nap megfigyelését lehetővé tevő szűrővel ellátott 5 inches Makszutow–Cassegrain-féle tükrös távcsőre tettünk szert, amelynek sok egyéb mellett előnye, nagy fényerősségű, jól bírja a nagyítást. A tanév teljes tartamára megírt kutatási programban szerepelt a naptevékenység vizsgálata, néhány csillag: U Cep, R Leo (M), R Cyg (M), U Ori (M) fényváltozásának kimutatása, mély-ég objektumok, kettőscsillagok megismerése. A következő évben ismét pályáztam, amelynek eredményeként egy 8 cm-es lencsés távcsövet vásároltunk (horizontális állvánnyal együtt), amelynek előnye a kis nagyításoknál elérhető nagy látómező. Már az első hetekben sikeresen használtuk, hiszen a számunkra rendelkezésre álló eszközök közül csak ezzel lehetett sikeres a 40 éves nyugalmából váratlanul kitört visszatérő növőcsillag, a T Pixidis megfigyelése és fényességének becslése. Ez azért figyelemre méltó eredmény, mert Magyarországról csak néhány fénybecslés született a csillagkép égbolton elfoglalt pozíciója és az ebből következő kicsi félnapi íve miatt. Szintén ebben a tanévben szereztük be bolygókameránkat is, amellyel videofolyamokat lehet készíteni a bolygókról, a Holdról, a Napról és azokat később számítógépes elemzéseknek vethetjük alá. A bolygókamera a bemutatásoknál tesz még jó

szolgáltatást, ugyanis segítségével a távcsőben látott kép projektorral kivetíthető, amit egyszerre sok ember szemlélhet, szemben a távcső okulárjában látott képpel, amelyet egyszerre csak egy ember láthat. Herschel prizmánkhoz is ekkor jutottunk hozzá, melynek segítségével a napfoltokról lehet a fólia napszűrő alkalmazásával kapott képnél részletgazdagabb képet látni vagy rögzíteni. Szépen gyarapodó eszközparkunkból nem hiányozhatott egy tudományos igényű felvételek készítésére alkalmas fényképezőgép sem, így vásároltunk egy Canon EOS 1000 D jelzésű kamerát így ezek után elkezdtük a környezetfizika szakkörösökkel az asztrofotózási ismeretek elsajátítását.

2011. június 15-i teljes holdfogyatkozást a Bartina-hegy tetejéről követtük nyomon, amely földrajzi helyzeténél fogva nagyon alkalmas a keleti horizont közelében bekövetkező csillagászati jelenségek megfigyelésére. A 2012. június 6-i Vénusz átvonulás észlelése és bemutatása is erről a helyszínről történt.

Nappali megfigyelhetősége miatt nagyon jó kutatási témának bizonyul a középiskolások számára központi égitestünk a Nap. Az előzőekben felsorolt távcsöveink a fotoszféra jelenségeinek tanulmányozására alkalmasak, ezért a következő pályázati beszerzésünk egy hidrogén-alfa naptávcső volt, amellyel a Nap kromoszférája vizsgálható. Hordozható számítógépre a távcső melletti észlelőmunkához és a tantermi szakköri foglalkozásokhoz van szükség. Rá lehet telepíteni planetárium programot (Cartes du Ciel), a HaloSim3.6 programot, a radartérkép archívumot, a bolygókamerával az égitestekről felvett videofolyamokat, a képfeldolgozó programokat (IRIS, RegiStax), az elkészített fotókat és egyéb szakköri munkákat. A csillagászati fényképfelvételek készítésénél tapasztaltam, hogy az EQ-3-as mechanika nem nyújt kellő stabilitást, tudományos igényű felvételek készítéséhez EQ-6-os asztrofotós mechanikára lenne szükségünk, amelyet pályázatból meg is vásároltam. Mivel már rendelkezésünkre állt a DSLR fényképezőgép, ezért felmerült az az ötlet, hogy észlelhetnénk ismét változócsillagokat, de nem vizuálisan, hanem fotometriai úton. Igazán izgalmas dolog a halványabb változócsillagok fényváltozásának nyomon követése, ezért az elmúlt tanév pályázatának eredménye egy 8 inches (20,3 cm átmérő) Schmidt–Cassegrain tükrös távcső lett, amellyel már halvány (15 magnitúdós) csillagok is láthatók. Ezt az EQ-6 asztrofotós mechanikára szerelve és a fényképezőgéppel kiegészítve, az összeállítás alkalmassá válik fotografikus fotometriai mérésekre.

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett pályázati lehetőségen (Út a tudományhoz) kívül a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kara által meghirdetett „A SZTE kutatóiskolája” címre nyújtok be rendszeresen pályázatot, amelynek eredményeként gimnáziumunk fizikából 2010 óta minden tanévben megnyeri ezt a megtisztelő címet. Ez tanévenként egy-egy mikroutatási program (pl. a naptevékenység vizsgálata, fényszennyezésmérés) megtervezését és kivitelezését jelenti, amelyhez az egyetem szakmai és anyagi támogatást nyújt. Ezáltal a szakköri tagok nagyon sok szakmai találkozóra jutottak el, tanulmányutakon vettek részt és így jutottunk hozzá egy halszemobjektívhez és egy égboltminőség mérő fotométerhez is. Tanulmányúton jártunk a kalocsai Haynald Obszervatóriumban, a bajai, tatai és székesfehérvári csillagvizsgálókban, a Kecskeméti Főiskola és a Szegedi Egyetem csillagvizsgálójában, a Becsehelyi CMI Csillagvizsgálóban, a budapesti Polaris és az Ógyallai Csillagvizsgálóban. Részt vettünk a Magyar Csillagászati Egyesület csoportjainak néhány szakmai találkozóján (nap-, üstökös- és meteorészlelő, és csillagászat-történeti szakcsoportok). Az MCSE kiadványokkal és szakmai továbbképző előadásokkal is segíti munkánkat.

Az évek során kiépült eszközparkkal a csillagászati események széles skálája tudományos igényű tanulmányozható. A fent említetteken kívül az elmúlt években bolygókat, érdekes égi konstellációkat, a Ceres-Vesta oppozíciót, üstökösöket, szupernóvákat örökítettünk meg. Széles nagyközönség számára a gimnázium udvarán bemutattuk a 2015. március 20-i részleges napfogyatkozást. Miután hozzájutottunk egy tavaly nyári szimultán

video megfigyelésű Perseida-tűzgömb légkörbeli pályájával kapcsolatos adatokhoz, további számításokat végeztünk arra vonatkozólag, hogy Szekszárdról milyen csillagképben lett volna megfigyelhető a jelenség, ha a bolida feltűnésekor éppen a szabadban tartózkodtunk volna.

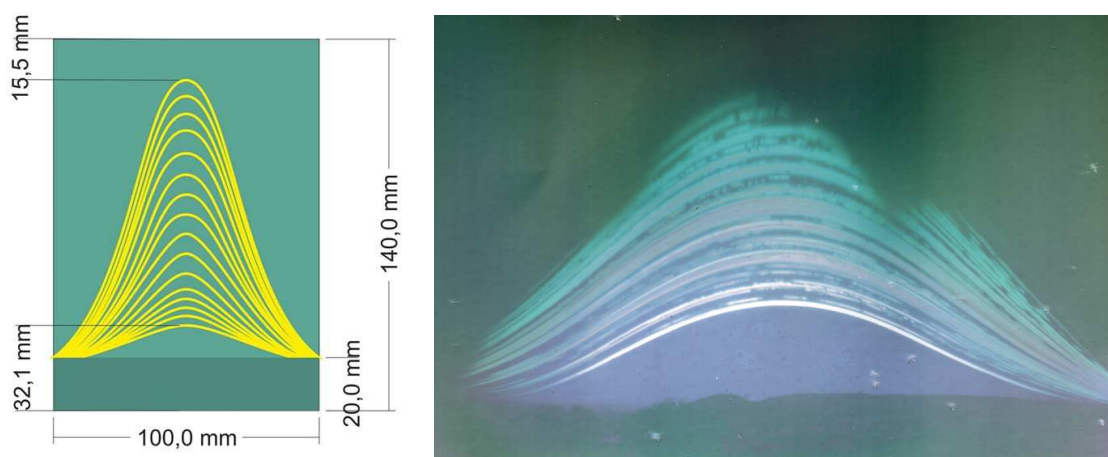
A mikrokutatások befejezését mindig a pályázat kiírója számára összegzések készítése és helyszíni beszámolók követik. Az elkészített anyagokkal tanulóim középiskolai tudományos diákköri konferenciákon is megjelennek, versenyeznek. Kiemelném a Tudományos Diákkörök Országos Konferenciáját (TUDOK), ahol évek óta jól szerepelnek diákjaim. Ennek következményeként megnyertem a lehetőséget a 2015. évi Műszaki és Reáltudományi Elődöntő megrendezésére, melynek helyszíne így a Szekszárdi Garay János Gimnázium lett. Tanulóim nemcsak előadásokkal versenyeztek a TUDOK-on, hanem az esszépályázaton és a poszterversenyen (ld. **F) függelék**) is részt vettek. 2015-ben indultunk először az Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencián, melynek a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara ad otthont, ahol két tanulóm is harmadik helyezést ért el. Megyei szervezésű a paksi Bottyán Tudományos és Művészeti konferencia, ahol szintén dobogós helyezéseket értek el tanulóim.

Nemzetközi és országos akciókban vettek részt diákjaim, mint például Globe at Night, Egy óra a Földért, 100 óra csillagászat, Globális csillagparty, A Nap napja, Sidewalk astronomy, A Csillagászat Napja, Kutatók éjszakája, Globe program. Együttműködést alakítottunk ki néhány más környezetfizika szakkörrel (vezetőik: Baranyai Klára és Szeidemann Ákos), azokkal találkozókat szerveztünk Budapesten, Tatán és Szekszárdon.

Hatosztályos gimnáziumi képzési formánk miatt általános iskolás korú, kislágimnazista tanulóink is vannak. A környezetfizika szakkör tevékenységét a tehetségnapok (Magyar Tudomány Ünnepe) és a Garay Napok alkalmából az egész iskola diáksága, így ők is megismerhették. Ennek következtében, a kislágimnazistákból álló érdeklődő csoporttal kiegészült környezetfizika szakköröm kétszintűvé vált. Velük más jellegű versenyen indulunk, ez a Kulin György Országos Csillagászati Diákvetélkedő, melynek az általános iskolai része egy csapatverseny, melyet minden páros évben rendeznek meg. Tanulóim csapata a Tatán rendezett országos döntőn 2012-ben hetedik, majd 2014-ben első helyezést értek el. A helyi médiának köszönhetően Szekszárd város széles közönsége értesült a környezetfizika szakkör tevékenységéről, eredményeiről és ez ismét a diákkör bővülésével járt. Az elmúlt tanévben külső iskolák érdeklődő kisdíákjait befogadva, megjelent a környezetfizika szakkör harmadik szintje a tízévesek nagyon lelkes, érdeklődő kis csoportja. Ez a tény új kihívások elé állítja a szakkörvezetőt is. Ez a magyarázata annak, hogy az évek során, az adott tanév körülményeihez alkalmazkodó, **többféle szakköri tematikát készítettem**, amelyek **a C) függelékben** találhatók. Készítettem egy részletes leírásokkal ellátott, gyakorlatok céljára alkalmas, távcsöves észlelési javaslatot, amely **a D) függelékben** található.

Nyaranta tanulóim országos táborokon vesznek részt: az Országos Középiskolás Csillagászati tábor, melyet régebben Baján a Csillagászati Kutatóintézetben, idén pedig Bakonybélben a Pannon Csillagdában rendeztek. A tízévesek csoportja pedig a budapesti Planetárium nyári napközis táborán bővítette ismereteit.

2014 nyarán részt vettünk a MCSE által meghirdetett országos szolárgráf akcióban. A szolárgráf tulajdonképpen egy lyukkamera, a Napot képezi le több hónapon keresztül, láthatóvá válik az idő előrehaladtával a Nap látszó égi útjának változása. Az 2. ábra bal oldalán várható eredmény látható, a jobb oldalon a Szekszárdon készült felvétel. A képeken jól látszik, hogy a Nap mekkora területet rajzolt be a fotópapíron.



2. ábra. Balról: A szolárgráf által készülő kép sémája; Jobbról: a Szekszárdon készült felvétel

6. 4. A tanulói tudás változásának mérése

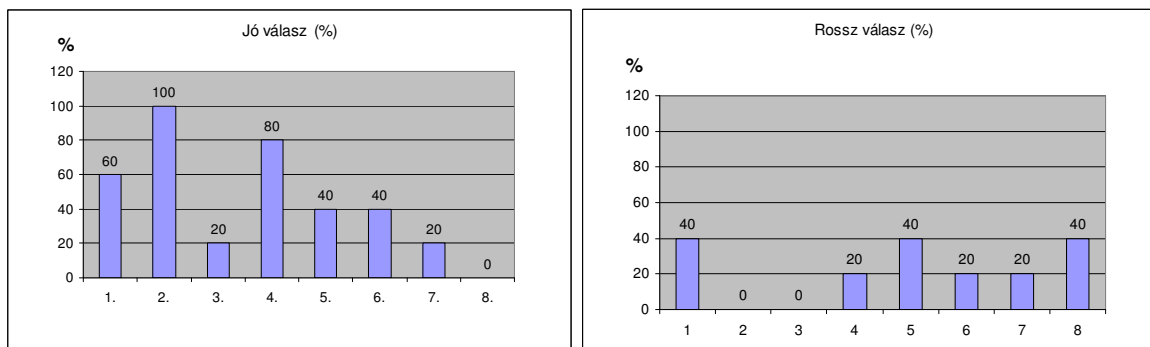
Tanulóimnál a környezetfizika szakkörbe lépéskor feladatlapok segítségével bemeneti mérést végeztem. Középiskolai tanulmányaik befejezésekor, a ballagás előtt, a diákkörből való távozáskor is megíratam ugyanazt tudásfelmérő feladatlapot, kimeneti mérés céljával, hogy lássam a fejlődésüket. Léggöroptikából és csillagászatból is nyolc-nyolc kérdésből álló feladatlapot állítottam össze, amelyek a függelék **E részében** találhatóak.

6. 4. 1. A léggöroptika kérdőív válaszainak elemzése

Bemeneti:

	Jó válasz (%)	Hibás válasz (%)	Rossz válasz (%)	Nincs válasz (%)
1. (látott-e halót)	(igen) 60	–	(nem) 40	–
2. (hallott-e róla)	(igen) 100	–	(nem) 0	–
3. (kialakulása)	20	20	0	60
4. (szivárvány)	80	0	20	0
5. (sarki fény)	40	0	40	20
6. (kék ég)	40	20	20	20
7. (vörös napny.)	20	0	20	80
8. (lapult Nap)	0	20	40	40

3. ábra. A bemeneti léggöroptika kérdőív válaszai

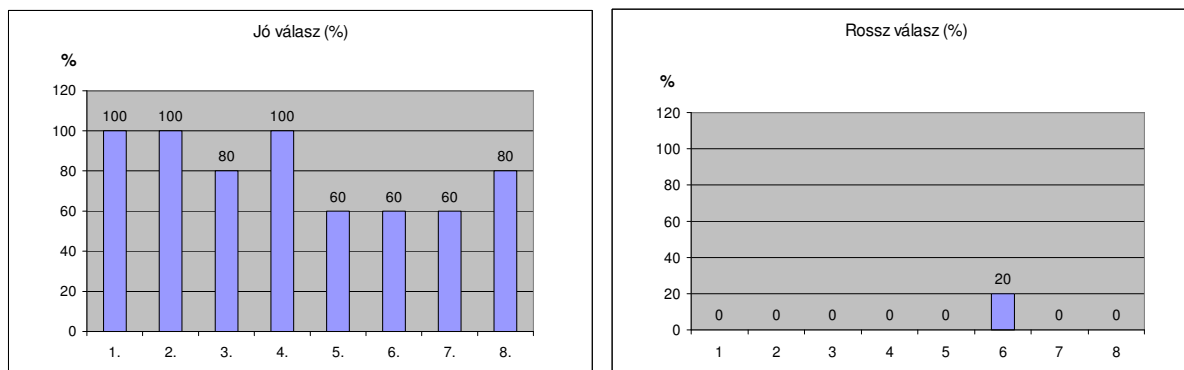


4. ábra. A bemeneti légköroptika kérdőív diagramjai

Kimeneti:

	Jó válasz (%)	Hibás válasz (%)	Rossz válasz (%)	Nincs válasz (%)
1. (látott-e halót)	(igen) 100	—	(nem) 0	—
2. (hallott-e róla)	(igen) 100	—	(nem) 0	—
3. (kialakulása)	80	20	0	0
4. (szivárvány)	100	0	0	0
5. (sarki fény)	60	20	0	20
6. (kék ég)	60	20	20	0
7. (vörös napny.)	60	20	0	0
8. (lapult Nap)	80	0	0	20

5. ábra. A kimeneti légköroptika kérdőív válaszai



6. ábra. A kimeneti légköroptika kérdőív diagramjai

Elemzés:

A táblázatok számsoraiból és a diagramokról megállapítható, hogy a tanulók tudása nőtt, illetve a bizonytalanságuk bizonyos kérdésekben csökkent.

A 2. kérdés (hallott-e már a halójelenségekről) válasza azért 100 %-os a kezdőknél is, mert az felsőbb évesektől hallották, hogy a környezetfizika szakkörön ezzel a témával foglalkozunk majd. A kérdőív elemzésekor látható, hogy a szivárványt jól ismerik már az általános iskolából érkezők is. Az is látszik a számértékek változásából, hogy a szakköri

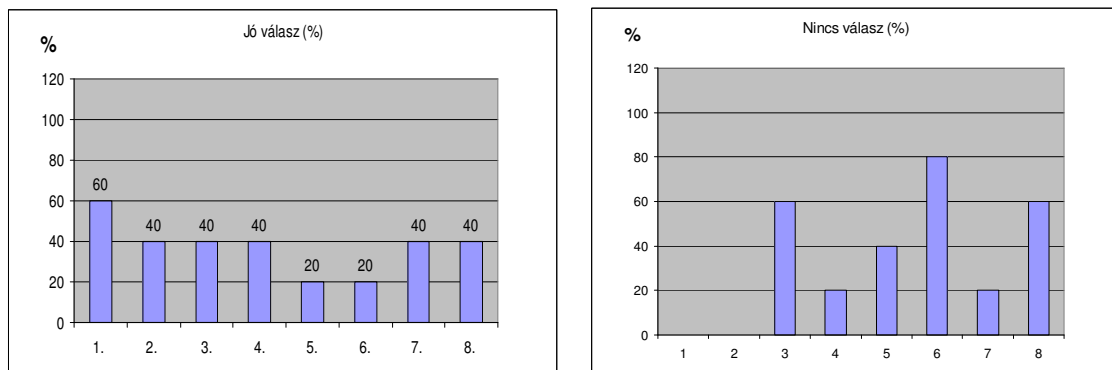
foglalkozásokon a halójelenségekre nagyobb hangsúlyt fektettem, mint a többi légköröptikai jelenségre.

6. 4. 2. A csillagászat kérdőív válaszainak elemzése

Bemeneti:

	Jó válasz (%)	Hibás válasz (%)	Rossz válasz (%)	Nincs válasz (%)
1. (napfolt)	60	40	0	0
2. (CSE)	40	60	0	0
3. (Merkúr)	40	0	0	60
4. (Vénusz)	40	20	20	20
5. (exobolygók)	20	0	40	40
6. (gyűrűs napf.)	20	0	0	80
7. (Tejút)	40	40	0	20
8. (v. csillagok)	40	0	0	60

7. ábra. A bemeneti csillagászati kérdőív válaszai

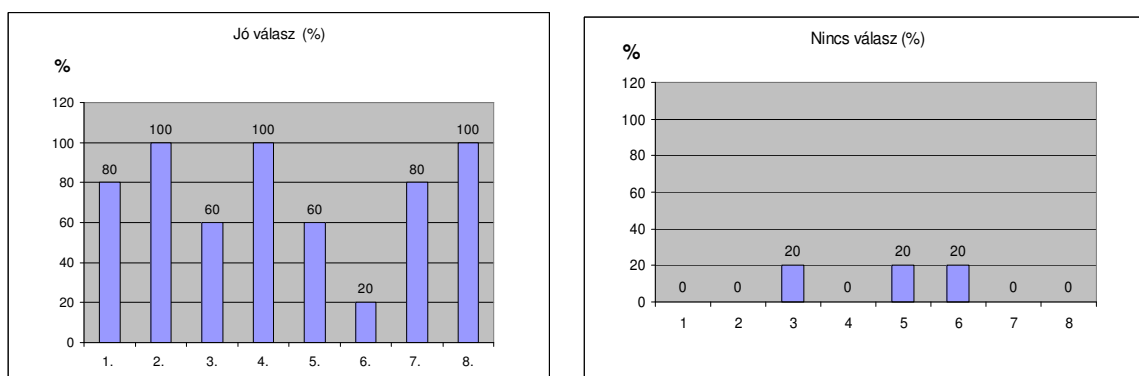


8. ábra. A bemeneti csillagászati kérdőív diagramjai

Kimeneti:

	Jó válasz (%)	Hibás válasz (%)	Rossz válasz (%)	Nincs válasz (%)
1. (napfolt)	80	20	0	0
2. (CSE)	100	0	0	0
3. (Merkúr)	60	20	0	20
4. (Vénusz)	100	0	0	0
5. (exobolygók)	60	20	0	20
6. (gyűrűs napf.)	20	40	20	20
7. (Tejút)	80	20	0	0
8. (v. csillagok)	100	0	0	0

9. ábra. A kimeneti csillagászati kérdőív válaszai



10. ábra. A kimeneti csillagászati kérdőív diagramjai

Elemzés:

A táblázatok számsoraiból és a diagramokról megállapítható, hogy a tanulók tudása nőtt, illetve a bizonytalanságuk bizonyos kérdésekben csökkent. A belépő tanulóknál megfigyelhető, hogy nagy százalékarányban meg sem kísérik a válaszadást, mert nem tudják a választ. A kilépő tanulóknál nagyon nagy arányban helyes válaszok szerepelnek, kevés a rossz válasz és az üresen hagyott kérdés, a hibás válaszok oszlopa pedig azt mutatja, hogy bizonytalanság esetén is megkísérik a válaszadást, tehát önbizalmuk nőtt. A gyűrűs napfogyatkozásnál egy tanuló a kilépők közül összekeverte a Hold közelebbi, ill. távolabbi helyzetét (róla biztosan tudom, hogy tudja a helyes választ).

6. 5. Az attitűd változásának vizsgálata

A fejezet elején bemutatott táblázat adatait egy kis magyarázattal kell ellátnom. Az eltelt hat év alatt 22 tanuló fordult meg a környezetfizika szakkörömben. Azonban ez nem azt jelenti, hogy mind a 22-en kilencedikben léptek és a 12. osztály végén távoztak a szakkörből. A középiskolás tanulók sokan keresik önmagukat, érdeklődésük csapongó, mindent ki akarnak próbálni, hogy megtalálják a számukra legérdekesebb területeket, mind a továbbtanulási terveik elérése céljából, mind pedig a szabadidő hasznos eltöltése terén. A többség csak egy évig vagy kettőig, vagy rendszertelenül látogatta a foglalkozásokat. Ennek nem az érdektelenség az oka, hanem az, hogy a mai diákok nagyon elfoglaltak, rengeteg különórájuk van: sport, zenélés, tánc, nyelvtanulás, nyelvvizsgák, stb.

A hat év folyamán öt olyan tanulóval dolgoztam együtt, aki gyakorlatilag a kezdetektől az érettségiig becsülettel végigdolgozta a diákkörben a három-öt évet. Ők azok, akikkel meg tudtam csináltatni mind a bemeneti, mind a kimeneti mérést. A többiek közül lehet, hogy valaki megírta a bemeneti mérést, de a kimeneti mérésig már nem jutott el. Olyan is volt, akinek nem akaródzott kitölteni a feladatlapot. Nem célszerű az érdeklődő diákokat egy délutáni szabadidős foglalkozáson feladatlapokkal fogadni. Biztos, hogy soha többet nem látnám a diákkörben. Megjegyzem még azt is, hogy az öt tanuló közül egynek voltam délelőtti órarendi órai tanára, a többieket egyáltalán nem is tanítottam. Az öt tanuló négy osztályba járt, csak ketten voltak osztálytársak. Közülük négy diák szekszárdi lakos volt, egy pedig vidéki. Ez a késő esti csillagászati megfigyeléseknél, illetve a rendszeres szombat délelőtti szakköri foglalkozásoknál egyáltalán nem volt elhanyagolható szempont, az esti és a szombati helyközi közlekedés járatainak ritkasága miatt. Két fiú és három lány alkotja a vizsgált ötfős

csapatot. Ennek az ismerete azért fontos, mert pl. este 11-kor az észlelés befejezésekor egy lányt nem lehet egyedül hazaengedni. Vagy a szülők jöttek értük, vagy valami módon gondoskodtunk a biztonságos hazajutásukról. Ezek a tényezők különböztetik meg ezt a típusú környezetfizika szakkört, a teremben zajló laboratóriumi méréseken alapuló szakkörtől.

Az öt tanulóval mélyinterjúkat készítettem. Közülük hárman 2011-ben, ketten 2015-ben érettségiztek. Öt tanuló – öt élethelyzet.

Megkérdeztem őket, hogy **ki miért jött a környezetfizika szakkörbe**. Regénybe illő válaszokat kaptam. Volt, akit a 2009. február 12-i halójelenség és annak fizika órai bemutatása fogott meg annyira, hogy csatlakozott a szakkörhöz. Volt, akivel egy hűvös áprilisi esti este egyszerre váltunk ki egy művészeti fesztivál résztvevői közül, hogy megcsodáljuk a fölénk boruló bársonyos égen ragyogó megannyi csillagot és fényes Tejutat, miközben a sötétben a hosszú sorban vonultak a többiek a szállás felé. Volt, aki Németországból 10. osztályosként, a tanév végén egy napra érkezett a Garay János Gimnáziumba magyar középiskolai oktatást látni és annyira megtetszett neki iskolánk hangulata, hogy a 11. és 12. osztályt, már nálunk járta és magyar nyelven érettségizett (persze volt már előzetes magyar nyelvtudása). Ő is a szakköröm lelkes tagja lett. 2009-ben a csillagászat nemzetközi évében az áprilisi háromestés bemutatáson találkoztam először egy érdeklődő hetedik osztályos tanulóval, akinek annyira megtetszett a bemutató hangulata, hogy az általános iskola befejezése után a Garayba kerülve nem volt kérdés számára a szakkörhöz való csatlakozás. Az utoljára maradt diákom pedig a 10. osztályban egy a szakkörben tevékenykedő barátnő invitálására érkezett, mert már régóta érdekelte ez a téma.

Megkérdeztem, hogy **mi tetszett nekik legjobban a diákköri tevékenységben**. Tetszett az, hogy találkozhattak olyan emberekkel, akik hasonló érdeklődésűek, mert egyébként hajlamos azt hinni az ember, hogy egyedül van a különleges érdeklődési területével. Jó társaságra leltek a diákkörben, tetszett nekik a sok megfigyelés. Tetszett az is, hogy rengeteget utaztunk, konferenciákra, találkozókra, tanulmányutakra mentünk. Nagyon jó volt a szakkörben, hogy tudományos diákköri konferenciákra jártunk. Sok érdekes téma, sok érdekes ember, új kapcsolatok, ha ezek nem lettek volna, akkor „üres ember lettem volna” - nyilatkozta egyik diákom.. Tetszett még az is, hogy olyan emberek előadásait hallhatta már középiskolás korában, aki később az egyetemen tanára lett. A környezetfizika szakkör mutatta meg azt számukra, hogyha valamit szeretnének elérni, akkor az nem lehetetlen, nagymértékben önbizalomnövelő szerepe volt: „kiderült számomra, hogy lehetek még sikeres kutató...” - hangzott el a nyilatkozatban.

Megkérdeztem azt is, hogy **mi az, amiről itt, a környezetfizika szakkörben hallottak először**. Néhány téma, amelyet megjelöltek a diákok: a magyarországi csillagászat története, a halójelenségek, a Hertzsprung–Russell-diagram, a magnitúdóskála, a Julián dátum, a változócsillagok, az órágéppel ellátott távcsövek kezelése, távolságok becslése az égen, fotometria. „Úgy általában mindenről volt egy kevéske felszínes tudásunk, ami a szakkörben aztán kitágult, kibővült” - mondta több tanuló is.

Következő kérdésem az volt, hogy **mennyiben segítette a fizikai tanulmányaikat a szakköri munka?**

A fizikát emelt szinten érettségi tárgynak választó diákok 2011-ben két csillagászati témájú esszével is találkoztak, úgyhogy ebben a témában az előtanulmányok a két fiúnak nagyon hasznosnak bizonyultak. Másik tanuló véleménye: „Megadta a fizikatanuláshoz a lelkesedést”. Volt olyan tanuló, aki azt mesélte, hogy „nagyon más a fizika az alapórán, sajnos a fizikatanárom nem kedveltette meg velem a fizikát. De a környezetfizika szakkör a fizika speciális területeit megkedveltette velem”. Volt olyan tanuló, akinek a fizika (és a többi természettudomány) még az általános iskolában nagyon fontos, kedvelt volt, de sajnos a középiskolában a tantárgy(ak) kedveltsége nem folytatódott. Azokon a területeken, ahol összekapcsolódott az órarendi fizika a csillagászzal ott sikerélményei voltak.

Megkérdeztem, hogy **mit javasolnak a továbbiakra a szakkör részére?**

Néhány vélemény: tagtoborzás, csillagász táborokban való részvétel, maradjon a sok tanulmányút számos érdekességgel és a sok megfigyelés. Minél több szakköri foglalkozásra a diákok készüljenek prezentációval. Ennek ösztönző ereje van. Más környezetfizika szakkörökkel, meteorológiai és csillagászati szervezetekkel való kapcsolattartás, találkozók, tapasztalatcserek szervezése, tudományos diákköri konferenciákon való részvétel.

Végül pedig idéznék egy-két riportbéli megjegyzést arról, hogy **hogyan látják annak hasznosságát, hogy a szakkörbe jártak:**

„Nagyon sokat köszönhetek szakkörnek, örülök, hogy ide járhattam, a továbbtanulási irányomat határozta meg.” (ELTE földtudományi alapszak, geofizikus szakirány)

Másik tanuló mondta: „A szakkör segített abban, hogy kilencedik osztályban nagyon nehéz élethelyzetbe kerülvén, megtaláljam önmagam. Önbizalmat adott, hogy ki tudjak állni az emberek elé, új kapcsolatokat tudjak létrehozni társaimmal, és hogy kibontakozhasson a „kétszáz csomóra kötött” személyiségem. A környezetfizika szakkör, a három év alatt a legmeghatározóbb volt az életemben. Az egyetemi tudományos diákköri életben magasabb szinten szeretném folytatni a középiskolában megkezdett kis kutatásokat. A továbbtanulásban, a turizmus-vendéglátás szakon szeretném a környezetfizika szakkörben megszerzett ismereteimet hasznosítani, például szívesen foglalkoznék a továbbiakban a csillagos-ég parkok turizmusával”.

Továbbtanulási adatok az öt vizsgált tanulóra vonatkozóan: A 2011-ben érettségizettek közül mindhárman az ELTE hallgatói: kettő közülük fizikushallgató (egyik csillagászat szakiránnyal) és egy fő pedig geofizikus-hallgató. A 2015-ben érettségizettek egyike bionika szakra, a másik tanuló turizmus-vendéglátás szakra jelentkezett.

Összegzés: A fentiekben leírtakból kiderül az, hogy sokat jelentett a tanulók tudásának és sorsának alakulásában a környezetfizika szakkörben végzett tevékenység, szerepet játszott személyiségjegyeik formálódásában, meghatározta továbbtanulási irányukat, estenként a külső okok miatt bekövetkező, fizika iránti a nem teljesen pozitív viszonyulást enyhítette.

Tudásomat, szakmai tapasztalataimat konferenciákon, továbbképzéseken történő részvétellel bővítem, illetve osztom meg másokkal. Atomfizikai ismereteimet, a fizikatanárok 2010-es nyári továbbképzésén a CERN-ben mélyítettem tovább. Fizikatanári ankétokon műhelyfoglalkozásokon (alkalmanként diákjaimmal) mutattam be környezetfizika szakköri tevékenységünket. Előadásokkal, illetve poszterekkel részt vettem az ELTE által szervezett 2009-es és 2011-es magyar nyelvű fizikaoktatási konferencián, a 2012-es marosvásárhelyi, A Fizika, matematika, művészet találkozása az oktatásban és a kutatásban című magyar nyelvű konferencián, a 2010-ben a zágrábi Fizikai Diákolimpia alkalmából szervezett angol nyelvű fizikatanítási konferencián és a 2010-es Közép-Európai Légekóptikai Konferencián. 2014-ben a Nyugat-magyarországi Egyetemen fényszennyezési konferencián vettem részt. Jelenleg, a 2015 augusztusában az ELTE által rendezendő angol nyelvű fizikatanítási konferenciára készülök.

Életpályám és eddigi tevékenységem alapján 2015. január 15-től mestertanári fokozatba soroltak.

Hitvallásom:

„Minden gyermek tehetséges valamiben, csak meg kell találni, hogy miben.”

Összefoglalás

A természettudományok és a fizika tantárgy megítélését sokan sokféleképpen elemezték és mintegy évtizeddel ezelőtt, nagyon tragikusnak látszott a helyzet. Az azóta eltelt időben rengeteg olyan dolog történt, ami a fizika megszerettetésének ügyét előbbre vitte. Széles fórumokon történt meg a fizika népszerűsítése, nemcsak a Csodák Palotájában, hanem az általános és középiskolákban, az egyetemeken és a médiában is. A kutatóintézetek nyitottak a széles közönség felé (Kutatók Éjszakája) és a legkisebbektől a felnőtteket megcélózva lelkes kollégák játékos kísérleteken keresztül ismertetik fel a fizika szépségét. Mindezek hatására pozitív változás indult meg, de az eredmények továbbviteléhez a fizikaoktatásnak is meg kell újulni. Korszerű módszerekkel naprakész tananyagokat kell oktatni. Ezek azonban nem mindig állnak rendelkezésre, és kidolgozásuk körültekintő tanári munkát igényel. A dolgozatomban bemutatott kutatásokkal és a környezetfizika szakkörrel feldolgozott projektekkel ehhez a módszertani innovációhoz szeretnék hozzájárulni.

Az értekezés a középiskolai fizikatanítás módszereinek és tananyagának megújítására vonatkozó kutatási fejlesztési eredményeket foglalja össze. A tárgyalt témák mindegyike a fizika és a földrajz tantárgy határterületén helyezkedik el, egyik tantárgy sem érzi igazán magáénak őket, egyikben sem kerül sor kellő részletességre tárgyalásukra. A témák azonban, mint jelen disszertáció kimutatja, motiváló erejűek, érdekesek a diákok számára. Közös vonása a tananyagfejlesztéseknek a kutatásalapú módszerek alkalmazása.

A munka első része két érdekes természeti jelenség diákköri megfigyelését, az elő- és utómunkálatokat, valamint a középiskolai értelmezés lehetőségét mutatja be: **a halójelenségeket**, amelyek tág lehetőséget nyújtanak a megfigyelésre és a geometriai optikai törvények alkalmazásával történő értelmezésre, és **a 2012-es Vénusz átvonulás megfigyelés-mérés tervezését**, a megfigyelést és egyszerűsített matematikai modelleket a jelenség periodicitásának értelmezésére és a csillagászati egység meghatározására vonatkozóan.

A **halójelenségekről** szóló rész tartalmazza a jelenségek tanítására **készített tízórás tanegység tervezetét**, részletes óratervekkel és reflexiókkal. (A tervezet a jelenségek tanítása során szerzett tapasztalatokra épül. A halójelenségek tanulmányozásakor a tanulók saját felvételek készítették és az elkészült felvételeket az interneten található program segítségével, szimulációval is előállították. A jelenségek kvantitatív értelmezéséhez szükséges számítások segítésére kristálymodelleket készítettek.)

A dolgozat második része környezetfizikai és földrajzi mérések szakköri feldolgozását, a mérések középiskolai szintű kidolgozását és értelmezését tartalmazza; Egyszerű **saját tervezésű, földrajzi helymeghatározási módszert**, a meteorológiai radarfelvételek alapján kidolgozott **önálló „csapadékprognózis” készítését** és a **fényszennyezés mérések tanulói projekt** keretében történő alkalmazását.

A földrajzi helymeghatározás egyszerű eszközökön alapul (gnómon és kvadráns) kidolgozásának célja az önálló tanulói munka ösztönzése és a diákok kreativitásának fejlesztése volt. Az általam konstruált és a tanulók által elkészített eszközzel mindkét földrajzi koordináta mérhető.

A meteorológiai radarfelvételek interneten található hurokfilmjére alapozva módszert konstruáltam arra, hogy az érkező csapadéköna mozgásának extrapolálásával diákjaim egyszerű fizikai ismeretek birtokában, hogyan „jósolhatják” meg, hogy lakóhelyükre mikor érkezik meg az eső.

Az éjszakai ég háttérfényességének mérése tulajdonképpen fotometriai mérés, amelynek elvi alapjait is meg kellett ismertetni a diákokkal. A mérésre alapozva diákkutatási projekt

feladatot dolgoztam ki. A városunkra és tágabb környezetére boruló éjszakai ég állapotára Magyarország fényszennyezési térképe alapján hipotézist állítottunk fel, méréseket végeztünk, majd ezeket értékelve tudtuk eldönteni hipotézisünk beigazolódását, avagy cáfolatát. A projekt megvalósításával tanulóimat környezetük védelmére is neveltem.

A dolgozat utolsó fejezete **a kidolgozott tematikák, mérések és eszköz-fejlesztések hatékonyságának és a tanulók fizikai iránti attitűdjére gyakorolt hatásának vizsgálatával** és a tehetséggondozásban való felhasználásával foglalkozik. Ennek részeként bemutatom a környezetfizika szakkör eszközparkjának tudatos tervezést igénylő kiépítését, az ezt segítő pályázati tevékenységet.

Doktori munkám legfontosabb eredményének azt tartom, hogy bebizonyítottam, érdemes légkörfizikával és csillagászzal foglalkozni a középiskolában, mert általuk komplex módon tárgyalhatók modern fizikaigényes gyakorlati témák. Mindennek pozitív hozományaként kedvezően változott a tanulók fizika iránti attitűdje is.

A dolgozat alapjául szolgáló publikációk

- [1] [Ibolya Ságodi Döményné, Péter Tasnádi: Atmospheric Physics As A Tool For Making Physics More Interesting For Students](#)
Web and CD on MPTL14 Udine University, 2009.
http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/ftp/full_text/T3_81_Tasnadi
In: Michelini Marisa (szerk.)
MPTL14: International Workshop on Multimedia in Physics Teaching and Learning, 14th edition. Konferencia helye, ideje: Udine, Olaszország, 2009.09.22–2009.09.26. Udine: University of Udine, 2009. Paper T3_81_OP. (10 oldal)
(Europhysics conference abstract booklet; 33.)
(ISBN:2914771614)
- [2] Ibolya Ságodi Döményné: [Atmospheric Phenomena in Physics Teaching](#)
Physics Competitions 12(2), 2010. p. 61–70.
- [3] [Döményné Ságodi Ibolya: Amiről a radartérkép mesél](#)
In: Juhász András, Tél Tamás (szerk.)
Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen: magyarul tanító fizikatanárok nemzetközi konferenciája az ELTE Fizika Doktori Iskola szervezésében. Budapest, Magyarország, (2009)
Budapest: ELTE Fizika Doktori Iskola, pp. 245–250. (ISBN:978-963-284-150-2)
- [4] [Döményné Ságodi Ibolya: Égre néző szemek a Garay Gimnáziumban](#)
In: Juhász András, Tél Tamás (szerk.)
Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen: magyarul tanító fizikatanárok nemzetközi konferenciája az ELTE Fizika Doktori Iskola szervezésében. Budapest, Magyarország, (2009)
Budapest: ELTE Fizika Doktori Iskola, pp. 257–262. (ISBN:978-963-284-150-2)
- [5] Döményné Ságodi Ibolya: *Szakkör a Garay János Gimnáziumban*
In: Tasnádi Péter (szerk.)
Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan. Budapest, Magyarország, (2011)
Budapest: ELTE TTK, pp. 432–436. (ISBN:978-963-284-224-0)
- [6] Döményné Ságodi Ibolya: *A fekete Vénusz*
In: Juhász András–Tél Tamás (szerk.)
A fizika, matematika és művészet találkozása az oktatásban, kutatásban
Nemzetközi konferencia magyarul tanító tanárok számára. Marosvásárhely, Románia (2012)
Budapest, ELTE TTK, 2013. pp. 223–228. (ISBN 978-963-284-346-9)
- [7] Döményné Ságodi Ibolya: *Nemcsak a Zselicben pompázik csillagfényben az éjszakai égbolt*
Fizikai Szemle (közlésre elfogadva)

Hivatkozások

- Baranyai K., 2009: Földrajzi meghatározás a Nap segítségével, Fizikai Szemle, 2009/4
- Bartha L., Mitre Z., Keszthelyi S., Mizser A., Szabó S., Tuboly V., 2004: A fekete Vénusz. Vénusz átvonulások a Nap előtt. Hegyháti Csillagvizsgáló Alapítvány, Hegyhátsál
- Bartholy J., Geresdi I., Matyasovszky I., Mészáros R., Pongrácz R. (2006): A meteorológia alapjai. Budapest
- Czakó Cs., 2011: Csillagos ég rezervátum a Hortobágyi Nemzeti Parkban és a fényszennyezés ökológiai hatásai (szakdolgozat) ; DE, Debrecen
- Czelnay R., 1991: Bevezetés a meteorológiába III. A meteorológia eszközei és módszerei, Nemzeti Tankönyvkiadó
- Damjanovich S., Fidy J., Szöllősi J. (szerk.), 2007: Orvosi biofizika, Medicina Könyvkiadó
- Dr. Dankó S., 1976: Csillagászati szakköröknek I-II., Szolnok
- Érdi B., 1977: Égi mechanika, Tankönyvkiadó, Budapest
- Farkas A., 2010: Halójelenségek, a magas szintű felhők légköroptikai jellemzői, Fizikai Szemle, 2010/11
- Geresdi I., 2004: Felhőfizika, dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs
- Glynn, S.M., & Koballa, T.R. Jr., (2006). Motivation to learn in college science. In J.J. Mintzes & W. H. Leonard (Eds.), Handbook of college science teaching (pp. 25–32). Arlington, V. A.: National Science Teachers Association Press.
- Görbe L., Nyerges Gy., Sebestyén Z., Simon P., Ujvári S., 2006: Fizikai mérések útközben, Fizikai Szemle, 2006/12
- Horányi G., 1997: Csillagászat tanterv a nyolcosztályos gimnáziumok számára, Calibra Kiadó
- Kallós K., 1997: Csillagászati feladatgyűjtemény és segédlet, NOVADAT Bt.
- Kirsch É., Dudics P., Balogh L., 2010: A tehetséggondozás lehetőségei fizikából, Magyar Tehetségsegítő Szervezetek Szövetsége
- J. Klepesta, A. Rükl, 1978: A csillagképek atlasza, Gondolat Kiadó. Budapest
- Dr. Kolláth Z., 2003: Mi is az a fényszennyezés? Világítástechnikai Évkönyv
- Kriska Á., Juhász A., 2011: Gyakorlati csillagászat az iskolában, Öveges Könyvek 9
- Dr. Kulin Gy., 1975: Csillagászat középiskolásoknak (szakköri füzet), Tankönyvkiadó, Budapest
- Dr. Kulin Gy., 1980: A távcső világa, Gondolat Kiadó, Budapest
- Dr. Kulin Gy., 1981: Bevezető gondolatok csillagászati szakkörök indításához, TIT, Budapest
- K. Lorenz, 1994: A civilizált emberiség nyolc halálos bűne; Ikva Könyvkiadó Kft., Budapest
- Marik M., (szerk.), 1989: Csillagászat, Akadémiai Kiadó, Budapest (egyetemi tankönyv)
- Mizser A., Oláh K., Szabados L., 1995: Korunk problémája, a fényszennyezés; in: Csillagászati Évkönyv 1996.; Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest
- Péntek K., 2004: A Vénusz átvonulásának matematikai leírása Halley módszere alapján. Gothard Egyesületi Füzetek 3., Szombathely
- Réthly A. (szerk.), 1939: A légkör, Magyar Királyi Természettudományi Társulat, Budapest
- Rajkovich Zs., Illy J., 2001: Az élő természet színei. Fizikai Szemle 2001/3.
- Sári P., 2000: Szivárványok és halójelenségek (szakdolgozat), Budapest, ELTE
- Szabolcs É., 2001: Kvalitatív kutatási metodológia a pedagógiában, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Szegedi Cs., Dombai F., Csirmaz K., Németh P., 2014: OMSZ időjárás-radarhálózatának mérései, OMSZ, Budapest

- Szijártó S., 2006: A csillagászat, mint új középiskolai tantárgy és érettségi vizsgatárgy (szakdolgozat), SZTE, Szeged
- Szomráki P., 2007: Fényszennyezés-zajszennyezés (diplomamunka); PPKE, Budapest
- W. Tape, 1994: Atmospheric Halos, Antarctic Research Series, Vol. 64., American Geophysical Union, Washington
- Tasnádi P., Skrapits L., Bérczes Gy., 2004: Mechanika I. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs
- Varró M. J. dr.: A fényszennyezés emberi egészségre gyakorolt hatásai; Országos Közegészségügyi Intézet

Honlapok

Atmospheric Optics (<http://www.atoptics.co.uk>)

HaloSim ([http:// www.atoptics.co.uk](http://www.atoptics.co.uk))

Hetze, C (<http://www.meteoros.de/halo>)

Moilanen (<http://www.somerikko.net>)

légköroptika.hu

NASA, ESO honlapja

www.venuszatvonulas.load.hu

www.rasnz.org.nz/2012Transit/Transits.html

www.venus-transit.de/TransitMOtion/index.html

<http://www.venus2012.de/venusprojects/contacttimes/basicidea/basicideatimes.php>

[ftp://fenyi.sci.klte. hu/pub/temp/VT-tanár.pdf](ftp://fenyi.sci.klte.hu/pub/temp/VT-tanar.pdf)

met.hu (OMSZ honlap)

www.nefela.hu

www.unihedron.com/projects/darksky/

FÜGGELÉK

A) Történelmi halójelenségek

A szakirodalom nagyon tág lehetőséget nyújt történelmi halók utáni kutatásra. Ebben a munkában csak néhány nevezetes esetet említek meg, továbbiak találhatók pl. a meteoros. de honlapon, Walter Tape tanulmányaiban, haló-szakkönyvekben stb.

Több olyan történelmi leírást is ismerünk, amelyekben a régi korok embere számára értelmezhetetlen fényívek, fényfoltok jelentek meg az égen, amelyek általában negatív események bekövetkeztét jelezték előre. Az első ilyen tudósítás az ókori Rómából származik. A Kr. e. 44-ben halóval és két melléknappal együtt hármass napkorong volt megfigyelhető. Ez, bizonyos jóslatok szerint előre jelezte, hogy az akkor ismert három világrész, Európa, Ázsia és Afrika egyesülni fog. Mások a hatalmon lévő triumvirátus: Caesar, Crassus és Pompeius egyetértésének erősödését várták az égi jeltől. Ez utóbbiaknak csalódniuk kellett: Caesart az összeesküvők Brutus vezetésével március idusán meggyilkolták.

Kevésbé baljóslatú az angol történelem leghíresebb halóíve és hármass napkorongja, amelyet a Mortimer's Cross mellett lehetett megfigyelni 1461 februárjában. Az 1455-től 1485-ig tartó Rózsák háborújában, a III. Edward király hét gyermekének leszármazottai között dúló örökösödési háború döntő ütközetére készültek a Yorkok, címerükben a fehér rózsával és a Lancasterek, címerükben a piros rózsával, amikor a hármass napkorong megjelent az égen. A legendás jelenésről Shakespeare is tudósít:

„EDVÁRD.

Szemem káprázik? Három nap van ott!

RIKHÁRD.

Három sugárzó teljes nap, igen!

El nem borítják felhők járatí,

Elválva tisztán halvány derüs égtől.

Nézd, nézd! csókolva egymást ölelik,

Mikéntha szent frigy esküjét fogadnák.

Most mind a három egy láng, egy nap, egy fény!

Nagy eseményt jósolnak az egek.”

Shakespeare: VI. Henrik (*Lőrinczi Zsigmond fordítása*)

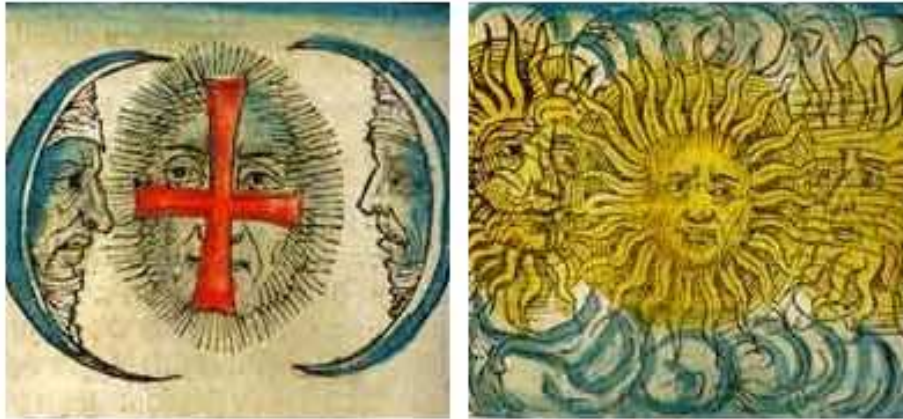
A csata színhelyén a vendéglő neve azóta is Fogadó a Három Naphoz, és cégtábláján ma is ott a Nap meg a két melléknapp a fehér halóívvvel.



1. ábra. Fogadó a Három Naphoz az 1461-es csata helyszínén

A középkorban az égi jelenségeket háború, tűzvész és más katasztrófák előjeleinek tekintették. A röpiratok azok a források, amelyekből ez kiderül az utókor számára. Gyakran megesett, hogy olyan tüneményeket jelenítettek meg együtt, amelyek egy időben nem is

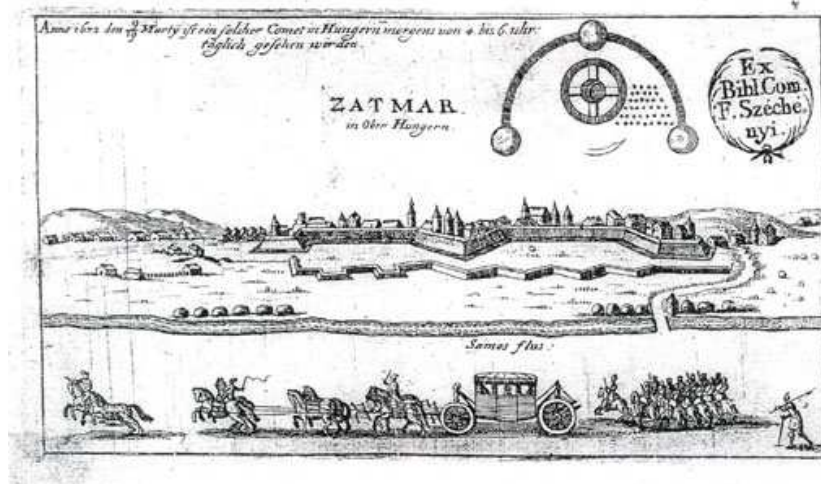
láthatóak. A XVI. században élt Hans Jakob Wik, zürichi lelkész összegyűjtött 1023 rajzot és 431 röpiratot, ezzel létrehozva a legjelentősebb gyűjtemények egyikét.



2. ábra. Der Schedelschen Weltchronik, 1493

A **magyar történelemben** az első írásos halójelenséghoz kapcsolható feljegyzés Szent István uralkodása idejéből, 1022. június 23-ról maradt ránk. Az írás említést tesz arról, hogy „június 23-án mintegy két nap látszott az égen”. Ezt követően a hazai feljegyzésekben közel 600 évig nem jegyezték fel halójelenséget, egészen 1603-ig. A Szepes megyei Leibichen 1603. január 7. és 8. között két felkelő Holdat láttak az emberek.

A következő esetről 1639. február 8-án tesznek említést a krónikák, amikor is a Pozsony megyei Modorban három napot, valamint három holdat is észleltek. Az 1660 decemberében megfigyelt sárospataki („Sárosbodack”) haló azonban tényleg beteljesítette a babonákat, mert valóban szerencsétlenséget hozott. A feljegyzések szerint "Felső-Magyarországon borzalmas csodajelek voltak láthatóak 10 mérföldnyire Eperjestől, ahol a Bodrog és a Laborc összefolynak". A jelenés után nem sokkal elkezdődött a török háború, amelynek kimenetelét mindenki jól ismeri. Egy 1672-ből való, Szatmár városát ábrázoló metszeten halójelenség is felismerhető.



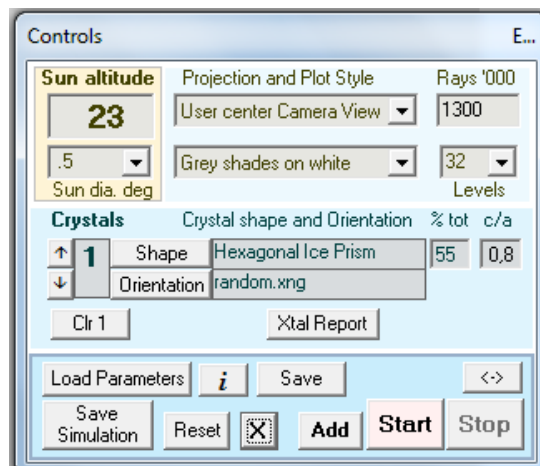
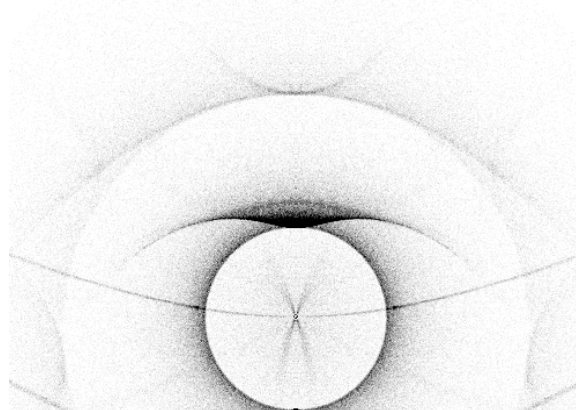
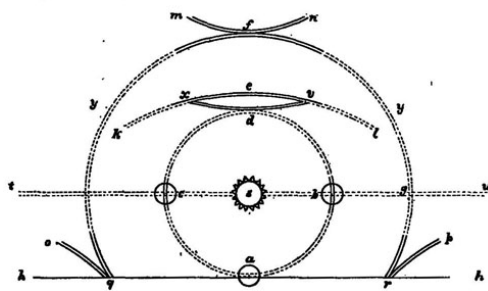
3. ábra. Égi jelek egy Szatmár városát ábrázoló metszeten 1672-ből: üstökös, halójelenség és talán hullócsillagok.(forrás: SZTE Ságvári Gimn. honlapja)

A Parry-észlelés

Kanadai sarkkör – Melville-sziget, 1820. április 8.

Motiváció

1820 tavaszán a Melville-szigetnél az Északnyugati átjárót hiába kereső Ross kapitány két kicsiny fa hajója 1819 szeptembere óta jégbe fagyva vesztegelt. Ekkor rajzolta le egyik tisztje, William Parry az alábbi ábra szerinti komplex halót.



4. ábra. Parry megfigyelése és a jelenség szimulációja

Parry ábrája többnyire jól ismert halójelenségeket tartalmaz. A rajzon jól felismerhető a horizontot érintő 22° -os halógyűrű és a 46° -os halógyűrű. A Napon az egész horizonra kiterjedő melléknapkör halad át. Tisztán látható a felső tangenciális ív, az alsó tangenciális ív pedig fényes foltként jelenik meg a horizonton, pontosan a Nap alatt. A 46° -os gyűrű felett megjelenik a cirkumzenitális ív. A felső tangenciális fölé eső ív a Parry-ív. Az ívet létrehozó kristályorientációt éppen ezen észlelés alapján nevezzük Parry-orientációnak.

B) Tanmenet és óratervek a halójelenségek tanításához

Tanmenet

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

A műveltségi terület neve: Ember és természet

A tantárgy neve: Fizika, környezetfizika szakkör

Tanítási egység: Halójelenségek

Ssz.	Témakörök	Célok, feladatok	Fejlesztési terület	Ismeretanyag
1.	Történelmi halójelenségek	Motiváció Információszerzés- és feldolgozás képességének fejlesztése	Tudománytörténeti ismeretek	A középkori európai észlelések, a római észlelés, magyar feljegyzések, Parry és Lowitz észlelés
2.	A halójelenségek fotózása	A tanulók képessé váljanak önálló halófotók készítésére	Fotózási ismeretek	A Nap kitakarása A záridők
3.	Optikai alapfogalmak	Az elméleti alapok ismételése, felfrissítése	Optikai alapfogalmak	Fényvisszaverődés, fénytörés, diszperzió prizma, törőszög
4.	A légköri jégkristályok	A felhőkben lévő fizikai viszonyok megismerése, kapcsolata a kialakuló jégkristályokkal	Kristályszerkezeti ismeretek	Hexagonális szerkezet, lap, oszlop, piramidális
5.	Modellkészítés kartonból	A testek hálójának átlátása, a kristályformák elmélyítése, térlátás fejlesztése	Térlátás, manualitás fejlesztése	Szabályos hatszög szerkesztése Hálók összeillesztése
6.	Az oszlopkristályok okozta gyakori halójelenségek	Bemutatni azokat a jelenségeket, amelyeket az oszlopkristályok okoznak	Halójelenségek megjelenése idején a felhőben jelenlévő kristályformákra történő következtetés	22 ⁰ -os halógyűrű Felső és alsó érintőív 46 ⁰ -os halógyűrű Felső és alsó oldalív Parry-ív

7.	A lapkristályok által okozott gyakori halójelenségek	Bemutatni azokat a jelenségeket, amelyeket a lapkristályok okoznak	Halójelenségek megjelenése idején a felhőben jelenlévő kristályformákra történő következtetés	Parhélia Naposzlop Zenit körüli ív Parhélikus ív Horizontális ív Alnap
8.	A piramidálisok okozta (ritka) halójelenségek	Bemutatni azokat a jelenségeket, amelyeket a piramidális kristályok okoznak	Halójelenségek megjelenése idején a felhőben jelenlévő kristályformákra történő következtetés	9° , 18° , 20° , 23° , 35° -os halógyűrűk 23° -os melléknapp 23° -os érintőív
9.	A halójelenségek szimulálása: Ismerkedés a Halosim 3.6 programmal	A tanulók ismerjék meg a halójelenségek szimulálására írt program kezelését	Számítógépes programhasználat; Angol nyelvtudás	A Halosim 3.6 program kezelése, futtatása
10.	Az elkészült fotóink és a történelmi halójelenségek szimulációja	Szimulációval előállítani a fotóknak megfelelő halóíveket	Számítógépes programhasználat, angol nyelvtudás	A természeti jelenségek szimulációval modellezhetők

Reflexió:

1. A történelmi halójelenségekkel történő tanegységkezdés azért indokolt, mert ezzel a tanulók érdeklődése felkelthető, nagyon jó motivációs eszközt ad a tanár kezébe.
2. A tíz egységből álló tananyag elvégzése, ha heti egy óras foglalkozásaink vannak, akkor körülbelül három hónapot vesz igénybe. Második egységnek azért a fotózási ismereteket javaslom, hogy a tanulók minél előbb képessé váljanak felvételek készítésére. Céлом az volt, hogy a tanegység végére, mire következnek a szimulációk, legyenek a tanulóknak saját fotóik. Ha például ősszel, szeptember-októberben elkezdjük a témát, akkor erre a három hónap alatt nagy valószínűséggel sor kerül, hiszen az őszi és a téli, a tavaszi légköri viszonyok gyakran produkálnak halójelenségeket.
3. Természetesen az a sorrend is elképzelhető, ahol az alapvető optikai ismeretek után a halójelenségeket okozó kristályok részletes bemutatása után tárgyaljuk csak a történelmi halókat, a fotózási ismereteket és a szimulációkat.
4. A sorrendet és a felépítést mindig az adott szituáció dönti el. 2009-ben egy látványos komplex halójelenség adta meg a motivációt, nem kellett a régi idők szép példáit előhoznom ahhoz, hogy a diákoknak kedvet csináljak a témához.

1. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: Történelmi halójelenségek

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A különböző történelmi korokban feljegyzett legismertebb halójelenségek és a hozzájuk kapcsolódó történetek megismerése.

Az óra didaktikai feladatai: a figyelem felkeltése, a jelenségek elemzése

Tantárgyi kapcsolatok: történelem, irodalom

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
7'	Az ókori Rómában észlelt halójelenség	tanulói kiselőadás	digitális tábla, internet	
7'	Halójelenségek ábrázolása a középkori röpiratokban	tanulói kiselőadás	digitális tábla, internet	
7'	Halójeleség Angliában 1461-ben	tanulói kiselőadás	digitális tábla, internet	
7'	Magyarországi feljegyzések	tanulói kiselőadás	digitális tábla, internet	
12'	Az 1790-es Lowitz és az 1820-as Parry észlelés	tanulói kiselőadás	digitális tábla, internet	
5'	Összefoglalás	Rendszerezés, áttekintés	tábla	

Reflexió: A téma bőséges lehetőséget nyújt a tantárgyi koncentrációra a történelemmel és az irodalommal. A témát kiselőadások formájában dolgoztuk fel, mert ezzel a munkaformával jobban felkelthető és fenntartható a tanulók érdeklődése, az interneten való kutatásnak pedig sok pozitív hozadéka van.

2. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: A halójelenségek fotózása

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: a tanulók ismerjék meg a fényképezőgépek felépítését és használatukat halójelenségek fotózásánál

Az óra didaktikai feladatai: új ismeretek feldolgozása és azok alkalmazása

Tantárgyi kapcsolatok: művészetek, fizika

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
10'	A fényképezőgép felépítése	Csoportmunka	Fényképezőgép(ek)	
15'	A digitális fényképezőgép	Csoportmunka	Fényképezőgép(ek)	
15'	A Nap kitakarásának lehetőségei Záridők	Tanári előadás, magyarázat	Napkorong kitakaró készlet	
5'	Összefoglalás	Kérdve kifejtés		

Reflexió: A tanulók elhozták a saját fényképezőgépeiket (akinek volt) és azokon is megnéztük a megbeszélte géphasználati fogásokat. Nikon D 5000 típusú kamerával fényképezett a legeredményesebb tanítványom, aki felhőket, szivárványokat, Tyndall-jelenségeket, hópelyheket és éjszakai világító felhőket is megörökített (ld. **F** függelék), a többieknek egyszerű automata gépeik voltak.

3. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: Az optikai alapfogalmak átismétlése

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A 8. osztályban tanult fénytani alapismeretek (visszaverődés, törés, prizma, törőszög, diszperzió) áttekintése, alkalmazásképes szintre történő felidézése és bővítése

Az óra didaktikai feladatai: előismeretek felidézése

Tantárgyi kapcsolatok: Rajz, művészetek

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): Fizika 11. Mozaik Kiadó

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
5'	Óra eleji ismétlés	Frontális munka		
12'	A fény Fényvisszaverődés törvényei Alkalmazások	kérdve kifejtés, bemutatás csoportmunka	Kísérleti eszközök: optikai pad	
15'	A fénytörés törvényei Alkalmazások.	kérdve kifejtés, bemutatás csoportmunka	Kísérleti eszközök: optikai pad	
8'	Prizma és törőszöge, a diszperzió jelensége	Tanári előadás, magyarázat bemutatás csoportmunka	Kísérleti eszközök: optikai pad	
5'	Összefoglalás	Kérdve kifejtés	tábla	

Reflexió: A szakköröseim a 8. osztályos optika tananyag után, de még a 11. osztályos anyag előtt voltak. Hasznos volt az ismétlés, mert különböző általános iskolákból érkezve, más-más alaptudással rendelkeztek és az eltelt évek alatt sokat felejtettek is.

4. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: A légköri jégkristályok

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A magas szintű felhők fajtáinak megismerése, jellemzőik; ezekben a felhőkben uralkodó fizikai viszonyok hatása a kialakuló jégkristály alakjára. A hatszöges szerkezet magyarázata.

Az óra didaktikai feladatai: új ismeretek nyújtása

Tantárgyi kapcsolatok: kémia, földrajz

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
10'	A magas szintű felhők	Tanulói kiselőadás	Digitális tábla internet	
10'	A jégkristály hexagonális szerkezete	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
18'	A keletkező jégkristály alakjának függése a felhő fizikai viszonyaitól	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
7'	Összefoglalás	Kérdve kifejtés	tábla	

Reflexió: A felhők magassági szintek szerinti csoportosításáról hallottak már természetföldrajz órán a 9. osztályban, ezért kiselőadás formájában ismételtük át, különös tekintettel a magasszintű felhőkre. A tananyag további része mindenkinek a számára új volt, bár a jégkristály hexagonális szerkezetét érintőlegesen vették már kémiából.

5. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: Modellkészítés kartonból

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: Szabályos hatszög szerkesztése, térlátás, manualitás fejlesztése

Az óra didaktikai feladatai: a témához kapcsolódó geometriai és rajz és vizuális kultúra ismeretek alkalmazása

Tantárgyi kapcsolatok: matematika, rajz és vizuális kultúra

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
5'	Óra eleji ismételtes, motiváció	Frontális munka		
5'	A munka menetének bemutatása	Tanári előadás, magyarázat	Az elkészítés fázisait mutató félkész modellek	
30'	Oszlopkristály, lapkristály és piramidális kristály készítése	Csoportmunka	Vonalzók körző, szögmérő rajzlap olló, ragasztó	
5'	Összefoglalás	Kérdve kifejtés		

Reflexió: Az óra gondos előkészítést igényel, hogy így beleférjen a 45 percbe. Ha nincs idő az előkészítésre, akkor inkább kétszer 45 percet fog igénybe venni a megvalósítás. Tapasztalatom az, hogy sok tanuló nincs tisztában még a szabályos hatszög szerkesztésével sem.

6. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: Az oszlopkristályok okozta gyakori halójelenségek

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: a tanulók ismerjék meg azokat a halójelenségeket, amelyeket a rúd-kristályok okoznak, és képessé váljanak ezek megkülönböztetésére.

Az óra didaktikai feladatai: új ismeretek nyújtása

Tantárgyi kapcsolatok: matematika, fizika

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
5'	Óra eleji ismételtes, motiváció	Frontális munka	Kristálymodellek	
7'	A 22 fokos halógyűrű	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
8'	A felső és alsó érintő ív	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
5'	A 46 fokos halógyűrű	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
7'	A felső és alsó oldalív	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
7'	A Parry-ív	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla internet	
6'	Összefoglalás	Kérdve fejtés		

Reflexió: A foglalkozáson elhangzottak új ismereteket jelentenek a tanulók számára. Nagyon célszerű az interneten megtalálható, bőséges képanyaggal ellátott szakirodalmat használni.

7. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: A lapkristályok által okozott gyakori halójelenségek

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A tanulók ismerjék meg a lapkristályok okozta halójelenségeket és képesek legyenek a megkülönböztetésükre.

Az óra didaktikai feladatai: új ismeretek nyújtása

Tantárgyi kapcsolatok: matematika, fizika

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
5'	Ismétlés, motiváció	Frontális munka	Kristálymodellek	
6'	Melléknep (parhéla)	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
5'	Naposzlop	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla,	
8'	Zenit körüli ív- Horizontális ív	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
5'	Melléknep-ív, 120 fokos parhéla	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
6'	Horizont alatti halók/alnap	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
5'	Lowitz-ív	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
5'	Összefoglalás	Kérdve kifejtés		

Reflexió: A foglalkozáson elhangzottak új ismereteket jelentenek a tanulók számára. Nagyon hasznos az interneten megtalálható, bőséges képanyaggal ellátott szakirodalmat használni.

8. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: A piramidális kristályok okozta halójelenségek

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A piramidális kristályok lapszámozási rendszere és az okozott halók megismerése

Az óra didaktikai feladatai: új ismeretek nyújtása

Tantárgyi kapcsolatok: rajz, matematika, fizika

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
10'	Óra eleji ismétlés Motiváció	Frontális osztálymunka	Kristálymodellek	
7''	A piramidális kristály lapjainak számozása	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
10'	9, 18, 20, 23, 35 fokos halógyűrűk	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
8'	23 fokos melléknep és 23fokos érintőív	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
10'	Összefoglalás	Kérdve fejtés	tábla	

Reflexió: A foglalkozáson elhangzottak új ismereteket a tanulók számára. Nagyon hasznos az interneten megtalálható, bőséges képanyaggal ellátott szakirodalmat használni. Ezek a halójelenségek azonban annyira ritkák, hogy elképzelhető az is, hogy ha az előző két órán kifutunk az időből, akkor még ezt az órát is az oszlop és lapkristályok által okozott sokkal gyakoribb jelenségekre fordítjuk.

9. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: A halójelenségek szimulálása: Ismerkedés a Halosim 3.6 programmal

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A tanulók jártasságra tegyenek szert a Halosim 3.6 program kezelésében.

Az óra didaktikai feladatai: a tények, jelenségek sokoldalú elemzése

Tantárgyi kapcsolatok: angol nyelv, informatika

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
10'	Motiváció atmospheric optics.uk honlap	Frontális munka	Digitális tábla, internet	
10'	A Halosim program használatának bemutatása	Tanári előadás, magyarázat	Digitális tábla, internet	
20'	Gyakorlatok a Halosim programmal	Csoportmunka	Digitális tábla, internet, laptopok	
5'	Összefoglalás, házi feladat	Kérdve kifejtés		Hf.: Otthoni foglalkozás a Halosim 3.6 programmal

Reflexió: A tanulók nagyon könnyedén megismertek a szimulációs programmal. Gyorsan megismerték a variációs lehetőségeket, a feltételek változtatásának módját. Az iskolai laptopok mellett a szakkör is rendelkezik pályázati forrásból beszerzett eszközzel, volt, aki saját laptopot hozott be az órára.

10. Óraterv

A pedagógus neve: Döményné Ságodi Ibolya

Műveltségi terület: Ember és természet

Tantárgy: Környezetfizika szakkör

Az óra témája: Az elkészült fotók és a történelmi halójelenségek szimulációja

Az óra cél- és feladatrendszere: a fejlesztendő attitűd, készségek, képességek, a tanítandó ismeretek (fogalmak, szabályok stb.) és az elérendő fejlesztési szint, tudásszint megnevezése: A tanulók képessé válnak saját fotóik és néhány történelmi haló szimulációval történő előállítására.

Az óra didaktikai feladatai: alkalmazás

Tantárgyi kapcsolatok: informatika, fizika, angol nyelv

Felhasznált források (tankönyv, munkafüzet, feladat- és szöveggyűjtemény, digitális tananyag, online források, szakirodalom stb.): légköroptika.hu; atmospheric optics.uk;

Időkeret	Az óra menete	Nevelési-oktatási stratégia		Megjegyzések
		Módszerek Tanulói munkaformák	Eszközök	
5'	Óra eleji ismételtes	Frontális munka		
25'	Szimulációk	csoportmunka	Digitális tábla, internet	
10'	Ismerkedés az OPOD (Optics Picture of the Day) oldallal	Frontális munka	Digitális tábla, internet	
5'	Összefoglalás	Kérdve kifejtés		

Reflexió:

1. Ez igazán sikeres óra volt. Nagy élvezettel járt, amikor a diákok szimulációval elő tudták idézni a fotóikon szereplő halókat. Nagyon hasznosnak bizonyult az OPOD oldal bemutatása, hiszen itt a tanulók a gyakorlati alkalmazásait láthatják annak, amit légköri optikából az elméletben megtanultak. Ezt az oldalt nem csak szakkörre, hanem a tanterv szerinti optika órák végére, gyakorlati alkalmazások bemutatására is javaslom, hiszen ábrákkal ellátott magyarázatokat ad a jelenségek kialakulására. Az oldal tanulmányozása közben a tanulók angol nyelvtudása is fejlődik.

2. Természetesen a 10. óra után valamilyen számonkérési formát célszerű beiktatni, hogy lássuk tanulóink fejlődését a témában.

C) Szakköri tematikák

Környezetfizika szakkör meteorológia irányultsággal (heti 1 óra)

Ahhoz, hogy a radartérképeken tanulóim jól tudjanak tájékozódni, a gyakorlaton felül meteorológiai alapismeretekre is szükségük van. Kidolgoztam és kipróbáltam egy tematikát a környezetfizika szakkörök részére a meteorológiai alapismeretek megszerzésére. A vastagon szedettek a gyakorlatban feldolgozott projektek.

1. A földrajzi helymeghatározás előkészítése
2. **Földrajzi helymeghatározás**
3. A légkör anyaga és szerkezete
4. A levegő felmelegedése, sugárzás, hőmérséklet, inverzió
5. Légnyomás, szél
6. A Coriolis-erő
7. Légnedvesség, harmatpont
8. **A légkör állapotjelzőinek mérése**
9. Látástávolság, köd, párásság, száraz légköri homály
10. Felhőképződés
11. Felhőfajták
12. **Felhőfajták és fotózásuk**
13. A csapadékok keletkezése
14. A csapadékok fajtái I.
15. A csapadékok fajtái II.
16. Fotózási ismeretek
17. **Hópelyhek fotózása**
18. Optikai alapfogalmak (fényvisszaverődés, fénytörés, fényelhajlás)
19. Léggöroptika: halójelenségek keletkezése és **fotózásuk**
20. Történelmi halójelenségek
21. **A halójelenségek szimulálása: A Halosim program**
22. További törési (délibáb, szivárvány) és visszaverődési és elhajlási jelenségek
23. Szórási jelenségek: az ég színe, az égbolt polarizációja, Tyndall-jelenség, krepuszkuláris sugarak, antikrepuszkuláris sugarak
24. **Egyéb léggöroptikai jelenségek fotózása**
25. Ciklonok, anticiklonok, meteorológiai frontok
26. A nagy földi légkörzés
27. A meteorológiai radarok
28. **A meteorológiai radartérképek használata**
29. Légköri elektromosság, sarki fény
30. Villámok
31. Zivatarok, zivatarláncok
32. Környezetvédelem: légszennyezés
33. Globális felmelegedés
34. Környezetvédelem: fényszennyezés, világítástechnika
35. A fényszennyezés káros hatásai
36. **Fényszennyezésmérés**

Környezetfizika szakkör csillagászati irányultsággal

1. változat: Két korcsoportos szakkör esetére

I.) Kisgimnazista szakkör tematikája (heti 1 óra)

1. Ismerkedés (ki hogyan kezdett érdeklődni, saját eszközök)
2. Csillagásztörténet 1.
3. Csillagásztörténet 2.
4. Csillagászati alapfogalmak (csillagászati egység, fényrend, szcintilláció...)
5. Távolságok becslése a csillagos égen
6. Őszi csillagképek
7. Kepler törvényei
8. A Naprendszer bolygói
9. A belső bolygók
10. A Merkúr tulajdonságai
11. A Vénusz
12. A Mars
13. Téli csillagképek
14. A külső bolygók
15. A Jupiter
16. A Szaturnusz
17. Az Uránusz
18. A Neptunusz
19. A Hold
20. Üstökösök
21. Meteorok, meteoritok
22. Aszteroidák
23. Exobolygó-kutatás
24. Tavaszi csillagképek
25. A Nap
26. A Naprendszer keletkezése
27. A Tejútrendszer
28. Galaxisok
29. A galaxisok csoportosítása
30. A csillagok fizikai jellemzői.
31. Az optikai távcsövek (tükrös és lencsés)
32. Rádiótávcsövek, űrtávcsövek, robottávcsövek
33. Konstellációk
34. Nyári csillagképek
35. A tanévben tanultak rendszerező ismétlése (számonkérése)
36. Az éves munka értékelése

II.) Gimnazista, haladó szakkör tematikája (heti 1 óra)

1. Ismerkedés, kit hogyan kezdett érdekelni, saját eszközök felmérése
2. Kopernikusz napközéppontú világgépe
3. A ptoleimaioszi és a kopernikuszi világgép összehasonlítása
4. Tycho Brahe
5. Kepler és Galilei
6. A csillagászat eszközei (távcsövek...)
7. A Nap szerkezete
8. A napfoltok, napkitörések, protuberanciák
9. Őszi megfigyelési gyakorlat
10. A magfúzió
11. A Föld, mágneses tere
12. A légkör szerkezete
13. A sarki fény
14. Az árapály
15. Az ózonréteg, az üvegházhatás
16. A Föld tengelyének mozgásai (CSE és parsec)
17. Helymeghatározás a Földön
18. Csillagászati koordinátarendszerek
19. Téli észlelési gyakorlat
20. A Hold pályája, mozgása, fázisai
21. A Hold felszíni képződményei
22. A bolygók osztályozása, a Merkúr
23. A Vénusz sűrű légkörének következményei
24. Felszíni alakzatok a Marson
25. A Jupiter felhői és a Galilei holdak
26. Tavaszai észlelési gyakorlat
27. A Szaturnusz
28. Az Uránusz és a Neptunusz felfedezése
29. Exobolygó kutatás
30. Hogyan jönnek létre a csillagok?
31. A csillagok élete
32. A csillagfejlődés végállapotai (neutroncsillag, fekete lyuk)
33. Nyári észlelési gyakorlat
34. Az ősrobbanás elmélete
35. A világegyetem szerkezete
36. Az éves munka értékelése

2. változat: Három korcsoportos csillagászati irányultságú környezetfizika szakkör

7–8. évfolyam: A Naprendszer (heti 1 óra)

1. A Naprendszer általános leírása
2. Égitestek csoportosítása a Naprendszerben
3. Kepler törvényei
4. Számolási feladatok
5. Sziderikus és szinódikus keringési idő
6. Számolási feladatok
7. Konstellációk
8. Newton törvénye
9. Számolási feladatok
10. A Merkúr
11. A Vénusz
12. A Föld mozgásai
13. A Mars
14. Az aszteroidaöv
15. A Jupiter
16. A Galilei holdak
17. A Jupiter egyéb holdjai
18. A Szaturnusz
19. A Szaturnusz holdjai
20. A Titán
21. Az Uránusz és holdjai
22. A Neptunusz és holdjai
23. A Plutó törpebolygó és holdja.
24. A külső aszteroida-öv (Kuiper-öv, Oort-felhő)
25. A Nap I.
26. A Nap II.
27. A Hold
28. Üstökösök
29. Meteorok
30. A Naprendszer keletkezési elméletei
31. Exobolygók
32. Koordinátarendszerek I.
33. Koordinátarendszerek II.
34. Cirkumpoláris csillagképek és legendáik/gyakorlat
35. Egyéb csillagképek és legendáik /gyakorlat
36. Az éves munka értékelése

9-10. évfolyam: Űrkutatás, csillagásztörténet (heti 1 óra)

1. Csillagászat az ókorban: Mezopotámia, Egyiptom
2. Csillagászat az ókorban: Kína, India
3. Csillagászat az ókorban: Európa, Amerika
4. A görög csillagászat I.
5. A görög csillagászat II.
6. Az arab-perzsa csillagászat és a középkori Európa csillagászata
7. Kopernikusz (1473–1543)
8. Tycho Brahe (1546–1601)
9. Kepler (1571–1630)
10. Galilei (1564–1642)
11. Newton (1643–1727)
12. Halley: üstökös, csillagok sajátmozgása; Bradley: aberráció; Herschel: Uránusz
13. Nap–Föld távolság meghatározása: Cook kapitány, Hell Miksa, Sajnovics János, 1769
14. Csillagparallaxisok: Bessel, Struve, Henderson
15. Színképelemzés: Fraunhofer, Kirchhoff, Bunsen
16. Doppler-effektus, Hubble-törvény, Einstein: a relativitáselm. csillagászati bizonyítékai
17. Rádió- és radarcsillagászat (a II. vh. után)
18. Az első, második és harmadik kozmikus sebesség
19. Az első szputnyik (1957), műholdak (távérzékelési, távközlési, meteorológiai, katonai)
20. Űrállomások (Szaljut, MIR, Skylab, ISS)
21. Az emberes űrrepülés, a holdraszállás
22. Napkutató szondák (HELIOS-1,2, Solar Maximum Mission, Ulysses, SOHO)
23. Bolygókutató szondák (Pioneer, Voyager-1,2, Mariner, Cassini)
24. Jövőbeli tervek (New Horizons, Rosetta, Hold utazás, Bioszféra-2-Mars utazás)
25. Hubble, Kepler űrtávcső eredményei
26. A magyar csillagászat története/tanulmányút Kalocsára
27. A középkor, a humanizmus kora: Vitéz János: Nagyvárad, Regiomontanus, Ilkus Márton: Esztergom
28. A 18. sz. eleje: Hell Miksa: Nagyszombat, Buda, Kolozsvár; Eger: Specula (1781), Gyulafehérvár
29. A Hell-expedíció és a parallaxis-vita
30. A magyar csillagászat fénykorának kezdete: 1815. Gellérthegy, Uraniae obszervatórium: Tittel Pál, Montedegói Albert Ferenc, Bicske: Nagy Károly
31. A 18. sz. második fele: Ógyalla(1871): Konkoly Thege Miklós; Kalocsa (1878): Haynald Lajos; Herény (1881): Gothard Jenő; Kiskartal (1886): Podmaniczky Géza
32. Konkoly-Thege Miklós, Gothard Jenő, Fényi Gyula
33. CSKI, Piskéstető, Debreceni Napfizikai Obszervatórium
34. Amatőrcsillagászat, Stella csillagászati Egyesület, CSBK, MCSE, szakcsoportok
35. Bemutató csillagvizsgálók és planetáriumok az országban
36. Magyar csillagnevek és csillaglegendák

11-12. évfolyam: Asztrofizika (heti 1 óra)

1. Csillagképek I.
2. Csillagképek II.
3. Csillagkép felismerési gyakorlat
4. Koordinátarendszerek I.
5. Koordinátarendszerek II.
6. Csillagászati távcsövek (refraktorok)
7. Csillagászati távcsövek (reflektorok)
8. Központi csillagunk a Nap
9. Napészlelési gyakorlat
10. A Föld forgásának bizonyítékai
11. A Föld keringésének bizonyítékai
12. A csillagok fényessége (látszólagos, abszolút, bolometrikus, távolsági modulus)
13. A csillagok távolsága, mértékegységek
14. Távolságmérés a csillagászatban
15. Színképek fajtái, színképosztályok, luminozítás, a csillagok kémiai összetétele
16. A csillagok hőmérséklete (Stefan-Boltzmann törvény, Wien-féle eltolódási törvény)
17. A csillagok sugara és tengelyforgása
18. A csillagok tömege és mágneses tere
19. Összefüggések az állapotathatározók között: tömeg-fényesség reláció
20. Összefüggések az állapotathatározók között: a HRD
21. Csillagrendszerek: vizuális, fedési, spektroszkópikus és asztrometriai kettősök
22. Csillagrendszerek: nyílt- és gömbhalmazok
23. Változócsillagok elnevezése és osztályozása
24. Szabályos változócsillagok
25. Eruptív változócsillagok
26. A csillagok energiatermelése
27. A csillagok születése és kezdeti fejlődése
28. A csillagok fejlődése
29. A csillagok végállapotai
30. A Tejútrendszer
31. Extragalaxisok (típusaik, csoportosításuk, galaxishalmazok, a világegyetem szerkezete)
32. A táguló világegyetem (Hubble törvény)
33. A tágulás bizonyítékai
34. Kozmológia
35. Megfigyelési gyakorlat/tanulmányút
36. Megfigyelési gyakorlat/tanulmányút

D) Megfigyelési gyakorlatok

Nap

1. Nagyon kell figyelni a biztonságos körülményekre (kivetítés, napfólia, Herschel-prizma alkalmazása)
2. A Nap beállításkor úgy járunk el, hogy a távcső mögött megfigyeljük a cső árnyékát és addig mozgatjuk a tubust, amíg az árnyék a legkisebb alapterületű nem lesz.
3. A fotoszférán megfigyelhető a szélsőtétedés jelensége és a napfoltok, nagyobb nagyítással azok belső szerkezete is.
4. H-alfa naptávcsővel megfigyelhetők a protuberanciák és filamentumok.

Hold

A Hold bemutatása, megfigyelése viszonylag egyszerű, néhány dologra azonban oda kell figyelni:

1. Ha lehet, akkor a valamilyen kisebb fázisban lévő Holdat mutassuk be (pl. esti égen első negyed környékén), mert a telihold nagyon fényes és a távcső még tovább erősíti-gyűjti róla a fényt, ezért nagyon vakító, szemet kápráztató a látvány.
2. Zenittükör alkalmazásakor a kelet nyugati irányt nem oldalhelyesen mutatja a távcső. Ez akkor jelent gondot, ha térképet is használunk az alakzatok beazonosításához. Kiküszöbölése Amici-prizmával lehetséges.

Bolygók

Belső bolygók:

Vénusz: a Holdhoz hasonlóan fázisokat mutat, ez a helocentrikus világkép egyik bizonyítéka.

Merkúr: megfigyelése nem könnyű (mindig közel jár a Naphoz). Maximális elongáció idején érdemes megkeresni.

Külső bolygók: a hátráló mozgás, „hurok” megfigyelése.

Mars: nem túl látványos, vörös égitest.

Jupiter: megfigyelése nagyon célszerű szakköri program. Megfigyelhetők a sávjai és a négy Galilei holdja, amelyeknek a helyzete látványosan változik, akár negyedóra elteltével is elmozdulást láthatunk.

Szaturnusz: legfőbb látványossága a gyűrűrendszere, melynek helyzete az évek során változik. Nagyobb távcsővel sávok is megfigyelhetők rajta.

Mélyég-objektumok

A Nagy Orion-köd (M 42)

A legismertebb mélyég objektumok egyike, megfelelő minőségű ég esetén szabad szemmel is éppen hogy látható. Kis távcsővel 1^0 átmérőjű, legyező alakú, zöldesfehér fénnel világító ködösség. Nagyobb távcsővel, kis nagyítással láthatóvá válnak a finom árnyalatok, a sötét foltok és a fényesen világító ködös nyúlványok. Összfényessége kb. 3,5 magnitúdó, kiterjedése $85' \times 60'$. Távolsága 500 pc, átmérője 10 pc és kb. 20 000 naptömegnyi anyag van benne. Az Orion-köd azért világít, mert a belsejében található forró fiatal csillagok sugárzása gerjeszti és ionizálja a felhő gázanyagát, tehát emissziós köd. Nagyrészt hidrogénből, kisebb

részben héliumból áll, de tartalmaz szenet, oxigént és nitrogént is. A felhő mélyén új csillagok születnek az összesűrűsödő gázból. Az Orion-köd centrális sűrűsödése nem idősebb 30 000 évnél. Félvezernél több változócsillag van a ködben és környezetében.

Az M42-be ágyazódva látható egy fiatal csillagokból álló alakzat, a Trapéz halmaz, amely az égbolt legtöbbször észlelt csillagrendszere. Nevét a négy csillag jellegzetes trapéz alakúnak látszó elrendeződéséről kapta. Kis távcsővel is könnyen felbontható négy ragyogóan fényes, fehér összetevőre.

Megjegyzés: Télen figyelhető meg legjobban, de még tavasszal is sokáig látszik.

Galaxisok

Az Androméda galaxis (M 31)

Már kis távcsövekkel is felkereshető (binokulárral vagy 8-10 cm-es refraktorral). Távolsága 2,5 millió fényév, átmérője 180 000 fényév. Ami igazán felkelti a tanulók érdeklődését az az, hogy 270 km/s sebességgel közeledik hozzánk és kb. 3 milliárd év múlva összeütközik galaxisunkkal.

Megtalálása: A β Andromedae-től kiindulva a μ Andromedae és ν Andromedae csillagokon végigvezetve távcsövünket, megpillantjuk az M 31-et a látómezőnkben.

A látvány: Már kis nagyítással (akár 10x50-es binokulárral) is jól látszik ködös, elnyúlt formája és a középpontjában lévő fényesség is határozottan felsejlik. Összfényessége 3,4 magnitúdó, így sötét, vidéki égről szabad szemmel is megpillantható. Látszólagos mérete 160'x40', ezért igen nagy látómező szükséges ahhoz, hogy egészében megfigyeljük. Egy látómezőben láthatóak vele az M 110-es és M 32-es törpegalaxisok, melyek az M 31 körül keringenek. Ezek közül az M 32 kis nagyítással csak korongszerű csillagnak látszik, ami talán kissé mintha ködös lenne (a galaxis ÉK-i szélénél), azonban az M 110 jól elkülönül, elnyúlt formája jól látszik. Fényességük 8,2 illetve 9,4 magnitúdó.

Megfigyelhetősége: A szeptemberi tanévkezdéstől februárig megfigyelhető.

Az Ursa Maior (Nagy Medve) fényes galaxisai, az M 81 és M 82

Az M 81 az égbolt 18'x10' nagyságú területét elfoglaló, Sb típusú spirálgalaxis. Fényessége 7,9 magnitúdó, tehát már keresőtávcsővel is megtalálható. Ez a legjelentősebb tagja az ún. M 81 csoportnak, a lokális Rendszerhez legközelebbi galaxiscsoportnak, amely tőlünk 2,3 Mpc távolságban, mintegy tucatnyi galaxist tartalmaz.

Az M 82 jelű, éléről látszó, nagy felületi fényességű, szabálytalan galaxis (Szivar galaxis) integrált fényessége 9,3 magnitúdó, kiterjedése 8'x 3'.

Megfigyelhetőség: 20 x 80-as binokulárral az M 81 és az M 82 ugyanabban a látómezőben figyelhető meg, egymástól 38' távolságban.

10 cm-es távcsővel, nagy nagyítással az M 81 fényes ovális, részletek nélküli ködös foltnak látszik, ugyanakkor az M 82 vékony, egyenletes fényű, szürkés „tűként” figyelhető meg.

20 cm-es távcsővel, nagy nagyítással az M 81 körül óriási, alacsony felületi fényességű halót pillanthatunk meg, míg az M 82 magja rendkívül tömörnek látszik.

Láthatósága: Egész évben láthatók a cirkumpolaritás miatt, de tavasszal vannak megfigyelésre a legkedvezőbb helyzetben.

A Sombrero-galaxis (M 104) a Virgo csillagképben

A Szűz csillagképben található galaxis nevét jellegzetes alakjáról kapta, mivel pontosan élével fordul felénk, így korongjának képét jellegzetes sötét sáv vágja ketté. A galaxis meglehetősen fényes: 8 magnitúdós, kiterjedése 8,9'x 4,5'. Az M 104-et bármilyen távcsővel könnyű megfigyelni. A galaxis lapult csészعالjra hasonlít, melyet a porsáv két részre oszt. Nagyobb távcsővel a galaxis középpontjában fényes korongot látunk, amelyet mindkét oldalon hatalmas, félkör alakú ív határol. Jó éjszakákon a Sombrero- galaxis valóban pompás látványt nyújt.

Láthatósága: tavasszal

Nyílthalmazok

A Perseus ikerhalmaz NGC 884- NGC 869, h- γ Persei

A dupla nyílt halmaz a Perseus csillagképben található. Könnyű megtalálni, mivel félúton helyezkedik el a Cassiopeia és a Perseus csillagképek között és szabad szemmel is látható.

Érdekessége: Tagjai a valóságban is viszonylag közel, mindössze néhány száz fényévre helyezkednek el egymástól. Az NGC 869 7100 fényévre, az NGC 884 pedig 7400 fényévre található tőlünk, koruk 5,6 illetve 3,2 millió év. Több mint 300 csillag található bennük (köztük nagyon fényesek is). Méretük külön-külön: 29' és több narancssárgás árnyalatú csillag is található bennük. Ez már 30-40-szeres nagyítással jól megfigyelhető.

Lerajzolása 10-15-szörös nagyítással a tanulók számára igazi kihívást jelent.

Összfényességük 4,3 magnitúdó, együttes méretük pedig 60', azaz kb. 1^o.

Az NGC 869 jelű halmaz kis nagyításnál kissé fényesebbnek látszik, mivel fényesebb csillagai sűrűbben helyezkednek el. Ezzel szemben az NGC 884-es halmaz fényesebb csillagai ritkábban helyezkednek el.

Láthatóság: A legkedvezőbb ősszel és télen, mert akkor magasan áll, de egész évben megfigyelhető a cirkumpolaritás miatt.

(Javasolt tevékenység: Rajzolás.)

A Pleiadok (M 45) a Bika csillagképben

Tömör szerkezete miatt ragyogóan fényes nyílt csillaghalmaz, melynek hét legfeltűnőbb csillaga szekér alakba rendeződött, ezért sokan azt hiszik, hogy ez a Kis Göncöl csillagkép.

Legfényesebb csillagai a görög mitológia hét nővéréről kapták nevüket: Alkioné, Aszteropé, Élektra, Maia, Meropé, Taygeta és Kelainó.

Néhány száz apró csillaga a telihold látszólagos nagyságával egyenlő területen oszlik el, összfényessége 1,2 magnitúdó, távolsága 500 fényév.

A Fiastyúk fiatal csillaghalmaz, csillagai kékesfehér színűek. A csoport legfényesebb tagjai B színképtípusú szubóriások vagy ugyanilyen színképtípusú fősorozati csillagok. Köztük több csillag színképében különleges emissziós vonalak találhatók.

Megfigyelése: Binokulárral, nagy látómezejű távcsővel vagy keresőtávcsővel a legérdekesebb megfigyelni. Ezekkel a műszerekkel egyszerre láthatjuk az egész halmazt, így felismerhetjük a halmaz legfényesebb csillagai által kirajzolt merőkanálra is emlékeztető alakzatot. Nagyobb távcsővel további csillagok tucatjai tűnnek elő, azonban így egyszerre csak a halmaz egy részét tanulmányozhatjuk, a távcsövet ide-oda mozgatva tudjuk az egész Fiastyúkot végigvizsgálni. Sötét égboltú helyekről nagy távcsővel észrevehetjük a halmaz több csillagát körülvevő reflexiós ködöt, legfeltűnőbben a Meropénél tűnik elő a ködösség. Ez a rendkívül ritka porfelhő a Fiastyúk csillagainak ráeső fényét veri vissza. Egyes észlelők a köd finomságát azzal érzékeltetik, hogy a tükrön lévő leheletnyomhoz hasonlítják.

Láthatósága: Ősszel és télen.

A Vállfa halmaz (Cr 399) a Vulpecula csillagképben

A Kis Róka csillagképben található objektum nevéhez hűen egy fejjel lefelé fordított vállfához hasonlít. Kis nagyítású binokulárral (10x) már kiválóan látszik, sőt így a leglátványosabb. Összfényessége 3,6 magnitúdó, ezért sötét égen egy fényes csomóként szabad szemmel is megpillantható. A vállfa formát 10 fényesebb csillag rajzolja ki. Legfényesebb csillaga 5,19 magnitúdós, a leghalványabb pedig 7 magnitúdó körüli.

A halmaz környezetében kizárólag ezeknél jóval halványabb csillagok helyezkednek el, ezért nagyon szépen kiemelkedik, az egyébként csillagokban nagyon gazdag, tejúti égrészen.

Megkeresése: A Kis Róka (Vulpecula) csillagképben helyezkedik el, megtalálása azonban a β Cygnitól (Albireo) kiindulva a legkönnyebb, Látszó mérete: $60' = 1^0$.

Láthatósága: nyáron és a tanév elején.

Gömbhalmazok

A Herkules gömbhalmaz (M 13)

Az északi félgömb sok észlelője az M 13-at tartja a legszebb gömbhalmaznak, valószínűleg azért, mert megfigyelőhelyük földrajzi szélességéről kényelmesen látható. Közelsége miatt tűnik nagynak és fényesnek, nem pedig azért, mert ténylegesen nagy a mérete vagy a fényessége. Az M 13 valódi átmérője mintegy 37 pc, távolsága pedig 7,7 kpc.

Megtalálása: A Herkules trapézának egyik csillagától, az η Herculistól pontosan déli irányban, $2,5^0$ távolságban fekszik. Legkönnyebben úgy találhatjuk meg, hogy az η Herculistól elindulva dél felé fordítjuk a távcsövünket, nagyjából a trapéz rövidebbik oldalán fekvő ζ Herculis távolságának harmadáig. Itt találjuk az M 13-at, amely két 7 magnitúdós csillaggal derékszögű háromszöget alkot. 5,9 magnitúdós, vagyis elég fényes ahhoz, hogy sötét égbolton szabad szemmel is látni lehessen. Binokulárral vagy keresőtávcsővel is még eléggé összeolvad a csillagok fénye, 8 cm-es távcsővel egyenletesen megvilágított tejszerű fényű, mintegy $8'$ átmérőjű korongnak látszik. 10 cm-es refraktorral vagy 15 cm-es reflektorral már sokkal szebb a kép, mert a halmaz külső része csillagokra bomlik. Nagyobb amatőr távcsövekben lélegzetelállítóan szép látvány. 25 cm-es vagy nagyobb műszerrel jó átlátszóság és nyugodt légkör mellett a halmaz teljes felülete csillagaira bomlik, az égbolt bársonyos háttere előtt halvány tüpettyek százait látjuk. Nyugodt éjszakákon nagyobb nagyításokat is érdemes alkalmazni, ilyenkor két különös jelenséget figyelhetünk meg.

Egyrészt észrevehetjük, hogy a halmaz peremvidékének csillagai látszólag hosszú ívekbe rendeződnek, azt a benyomást keltve mintha a halmaz közepéből kiinduló nyúlványokat látnánk.

Másrészt figyeljük meg a csillagok eloszlását a halmaz felületén. Úgy tűnik, mintha egyes helyeken sötét üregek lennének a csillagok között, míg másutt sok csillagból álló, fényesebb foltokat látunk. Közülük három, óriási Y alakot formáz a mag délkeleti oldalán. Ezek a sötét foltok azonban nem a halmazban lévő lyukak, hanem inkább csak a csillagok látszólagos csoportosulásáról van szó, egyes helyeken több csillagot látunk, másutt kevesebbet.

Láthatósága: tavasszal és nyáron, fotózni nyáron a legkényelmesebb.

Gömbhalmaz (M 3) a Canes Venatici csillagképben

A Vadászebek déli peremén, az Ökörhajcsár csillagkép határán található ez a csodálatos, talán egymillió csillagot is tartalmazó óriási gömbhalmaz. A binokulárral párás foltnak látszó objektum 8 cm-es távcsővel kissé foltossá, egyenetlen fényűvé válik. Valamivel nagyobb

távcsövek a halmaz peremét különálló csillagokra bontják, 30 cm-es műszerrel viszont egészen a közepéig csillagokra bontható a halmaz.

Láthatósága: tavasszal

Planetáris ködök

A Lyra gyűrűsköd (M 57) a Lyra = Lant csillagképben

Már egy kis távcsővel, például egy 8 cm-es refraktorral is megfigyelhető. Vizuális fényessége 8,8 magnitúdó, enyhén elliptikus alakú, formája egy gyűrűre emlékeztet. Nagyobb távcsővel (13-15 cm-es távcső, százszoros feletti nagyítással) látható benne néhány fényesebb rész is a gyűrű nyugati és északi részén.

Központi csillagát, melynek fényessége vizuálisan 15,75 magnitúdó csak nagy, 40-50 cm-es távcsővel figyelhetnénk meg, amihez még sötét ég és nagy nagyítás is szükséges lenne. Gothard Jenő fényképezte le először 1886-ban egy 26 cm tükörátmérőjű Newton távcsövön keresztül. A köd egy vörös óriás maradványa, amely egy robbanásban a környező csillagközi térbe dobta le külső rétegeinek gázanyagát. A Földtől 2300 fényévre található.

Megfigyelhetőség: Könnyen megtalálható a Lant (Lyra) csillagképben és a β Lyrae és γ Lyrae között nagyjából félúton. A tanév kezdetétől november végéig biztosan megfigyelhető az esti égbolton.

A gimnázium 12,7 cm-es távcsövével már kis nagyítással (kb. 30-szoros) is jól észrevehető volt a ködösség és a gyűrűszerű kerek forma. Kb. 60-szoros nagyítással már jól látható volt enyhén elliptikus alakja, de 100-szoros nagyítás felett a legmutatósabb. Ekkor már kisebb részletek is kivehetők a gyűrűn.

Láthatósága: nyáron és a tanév elején.

A Dumbbell-köd (M 27) a Vulpeculában

A Róka csillagképben, 150 pc távolságban lévő planetáris köd alakja súlyzóra hasonlít. Látszólagos kiterjedése 480" x 240", fényessége 7,6 magnitúdó, tőlünk 150 pc távolságban van. Tanulmányozásához közepes nagyságú távcső szükséges.

Láthatósága: nyáron és a tanév elején.

Kettőscsillagok

Alcor-Mizar az Ursa Maior csillagképben

A Göncölszekeret mindenki ismeri. A kettőscsillag a szekér rúdjának törésénél található. Szabad szemmel is kettéválaszthatóak, mert távolságuk 11,8', de jó szemű megfigyelő kell hozzá. Az Alcor a halványabb (4 magnitúdó), a Mizar a fényesebb csillag. Az utóbbi ráadásul maga is kettőscsillag, a tagok távolsága 14,4", fényességük 2,27 és 3,95 magnitúdó. Az összetett rendszer távolsága a Naptól 78-80 fényév.

Láthatósága: egész évben

Az Albireo = β Cygni a Hattyú csillagképben

Az égbolt egyik legkedveltebb kettőscsillaga, kis csillagászati távcsővel, kis nagyítással is felbontható. Már valamivel 20-szoros nagyítás fölött is kettéválasztható, ezért az egyik legtöbbet észlelt, kettőscsillag.

Az A és B csillagok egymástól 34" távolságra vannak, így 50-szeres nagyítással már nagyon szépen, elkülönülten látszik egymástól a pár. Azért is célszerű ekkora nagyítással nézni, mert ilyenkor látszik a legjobban a kettő közötti színkülönbség. Az A csillag erősen narancssárga színű, fényessége 3,1 magnitúdó, míg a B csillag élénk kék színű és 5,1 magnitúdó. A színkülönbségnek köszönhetően a fényességkülönbség alig észrevehető közöttük.

Az Albireo távolsága 410 fényév (120 pc), a két csillag egymástól 4400 csillagászati egységre, azaz mintegy 600 milliárd kilométerre van. A két csillag között fizikai kapcsolat van, a nagy szögtávolság ellenére egymás körül keringenek. Keringési periódusuk 75 000 év.

Megtalálása: Igazán könnyű, hiszen gyengébb égen is szabad szemmel, mással összetéveszthetetlen.

Érdekesség: Az A komponens (a sárga tag) maga is nagyon szoros kettőscsillag, szögtávolságuk mindössze 0,4", ezért szakköri eszközökkel ez nem figyelhető meg.

Láthatósága: nyáron és a tanév elején.

A Cor Caroli = α Canum Venaticorum

A tavaszi égbolt kis távcsővel felkereshető egyik legszebb kettőscsillaga. Magyarul Károly szíve, a mártír angol király I. Károly és fia II. Károly emléket őrzi. Ez a szép pár egy 3,0 és egy 5,5 magnitúdós csillagból áll, amelyek 19,6"-re vannak egymástól. A csillagok színe kékesfehér, illetve fehér. A párt közepes nagyítással gyakorlatilag bármely távcső könnyen felbontja.

Láthatósága: tavasszal

Az ϵ -Lyræ dupla kettős rendszer a Lant csillagképben

Dupla kettőscsillag, mert a kettős rendszer komponensei maguk is kettősök. A távolabbi kettősök látszólagos távolsága még éppen elég kicsi ahhoz (208"), hogy még nagyobb nagyítás esetén is egy látómezőbe beférjenek. Tulajdonképpen ebből következően szabad szemmel is kettős csillagnak látjuk, együttes fényük eléri a közel 4 magnitúdót. Az egyes párok felbontásához már nagyobb nagyítás szükséges (100-szoros vagy nagyobb), mivel a szögtávolságuk kicsi: az ϵ_1 -é 2,6", az ϵ_2 -é pedig 2,3".

65-szörös nagyítással még nem válnak szét a szoros kettősök, de már tojásdad alakúnak látszanak a csillagok. 130-szoros nagyításnál pedig éppen egymás mellett látszanak a csillagpárok.

Az ϵ_1 -nél az A tag fényessége 5 magnitúdó, a B tag fényessége 6,1 magnitúdó, a B komponens halványabbnak is látszik. Mindkét csillag fehér színű.

Az ϵ_2 -nél az A tag fényessége 5,2 magnitúdó, a B tagé 5,5 magnitúdó. Ezt a kicsi fényességkülönbséget kevésbé tudjuk érzékelni. Ezek a csillagok is fehér színűek.

A csillagok valódi négyesrendszert alkotnak, ugyanis nemcsak az ϵ_1 és ϵ_2 párjai keringenek egymás körül, hanem a két kettőscsillag is fizikai kapcsolatban van. Rajtuk kívül további csillagok is tartoznak a rendszerhez.

Az egyes párok keringési periódusa 1000 év körül van, de az ϵ_1 és ϵ_2 keringési periódusa legalább félmillió év. Koruk 800 millió év körüli.

Láthatósága: Az őszi tanévkezdéstől november végéig az esti órákban figyelhető meg. Egyébként egész nyáron, tavasszal pedig hajnalonta észlelhető.

Megjegyzés: Egy látómezőben a dupla kettőscsillag nagyon látványos képet nyújt. Volt észlelő, aki úgy jellemezte, mintha két egymással táncoló párt látna a táncparketten

E) Kérdőívek

Légköroptika kérdőív

1. Látott-e már valaha a Nap/Hold körül vagy közelében különös fényfoltokat, fényíveket, „udvart”?
2. Hallott-e már valaha halójelenségekről?
3. Mit tud arról, hogyan alakulhatnak ki a halójelenségek?
4. Hogyan keletkezik a szivárvány?
5. Hogyan keletkezik a sarki fény?
6. Miért kék az ég?
7. Miért vöröses a felkelő vagy lenyugvó Nap fénye?
8. Miért lapult a felkelő vagy lenyugvó Nap fénye?

Csillagászat kérdőív

1. Ismertesse pár szóban, hogy mi a napfolt?
2. Mit nevezünk 1 csillagászati egységnek?
3. Miért nem pusztulnak le a Merkúr kráterei?
4. Mi az Esthajnalcsillag?
5. Milyen égitesteket nevezünk exobolygóknak?
6. Mi a magyarázata a gyűrűs napfogyatkozásnak?
7. Mi a kapcsolat a Tejút és a galaxisok világa között?
8. Ismerünk olyan csillagokat, melyeknek nem állandó a fényességük. Nevezzen meg egy okot, ami miatt változhat egy csillag fényessége!

F) Tanulói munkáiból




Fényszennyezés mérése Szekszárdon és környékén

FÉNYSZENNYEZÉS HATÁSAI

Fényszennyezés az a mesterséges fény mennyisége, ami nem kizárólag a megvilágítandó felületre és irányba jut, (1-3. ábra) valamint ez a környezet-szennyezés egy formája is.




Főbb problémák:

- zavarja az embereket a pihenésben
- gátolja a melatonin nevű hormon termelődését
- megzavarja az élőlények bioritmusát
- befolyásolja a fototaxiszt
- fokozhatja a klímaváltozást
- tönkreteszi az égbolt látványát
- megakadályozza a csillagászati megfigyelőmunkát


LÁMPATÍPUSOK

Az összehasonlító ábrán azt figyelhetjük meg, hogy minél jobb a lámpák burájának kialakítása, annál kevésbé szennyezik az égboltot (4. ábra). A csere előtt 4. típusú lámpát is használtak, ezek kb. 100%-os sugárban világítanak, de 3. típusra cserélték, ami már 80%-ot jelent. Előbbi a nagymennyiségű higanylámpa (5. ábra), melynek színvisszaadása nem túl jó, a nátrium miatt sárgás színe van. Utóbbi LED-es lámpa (6. ábra), melynek fényereje nagyobb, azonban (színe) távol áll a természetes fénytől.






VÁROSI FÉNYSZENNYEZÉS


A fényszennyezettség mértékét a kilencfokozatú Bortle-skálára (7. ábra) lehet besorolni. Az egyes fokozat a teljesen fényszennyezésmentes éjszaka, ami például a hegyvidékeken figyelhető meg, míg a kilencedik fokozat egy nagyváros központi részén látható eget jelöli. Tehát ebből megállapíthatjuk, hogy minél nagyobb a szám értéke, annál fényszennyezettebb az ég.



Ennek szemléltetésére készítettünk egy összehasonlítást (8. ábra) Városunk központjában és a környező szőlődombok között is megörökítettük az Orion-csillagképet. A városban kívül készített képen jól látszanak a csillagkép részletei. A Betelgeuse és a Rigel csillag. Az Orion öve és az Orion kardja az Orion-köddel, míg a belvárosban készült fotón mindezek sokkal rosszabbul, alig látszanak.




Egy nagyon jó szemléltető példát is találtunk erre a skálára. (9. ábra) A felső kép egy a Földről készült szerkesztett éjszakai felvétel és ebből hozták létre hamis színűzéses eljárással az alsó képet, amely a világűrbe kiúto fény mennyiségét ábrázolja a jobb oldalon feltüntetett Bortle-skála szerint. A legénységesebb helyek Japán, Európa nagy része és az Észak-amerikai keleti partvidéki agglomeráció.



A MÉRŐMŰSZER

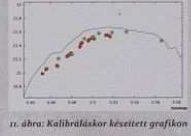
Fényszennyezésméréshez egy Unihedron, lencsés Sky Quality Meter nevű eszközt használtunk. (10. ábra) Ahhoz, hogy háttérfényességet mérjünk, a fejként főt, a zenit felé tartjuk (ami egy földfelszíni pontba emelt függőlegesnek az éggömbbel való azon dőfspontja, amely a horizont felett van, vele ellentétes pont a nadír), majd a rajta lévő gömb megforgatása után pár másodperccel megadja a fényesség értéket századpontosággal – magnitúdó per szögmásodperc – mértékegységben. A készüléken fel van tüntetve egy skála, amelyen a Bortle-skálával ellentétben az egyre nagyobb értékű számok egyre tisztább eget jelölnek fényszennyezettség szempontjából.

Ennek a készüléknek két fajtája van, a lencsés, ezt jelöli az „L” betű és a lencse nélküli műszer. Közöttük az a különbség, hogy a lencse nélküli nagyobb térszögű területről gyűjti össze a fényt, ami körülbelül 120°-ot jelent, míg a lencsés maximum csak 40 fok.



Kalibráció


Az eszközt június 15-16-án kalibráltuk a bajai csillagászok segítségével az Illancs területén, ahol a miénken kívül még két másik műszer is mért. A függőleges tengelyen a fényszennyezettség mértékét – magnitúdó per szögmásodperc – mértékegységben adtuk meg, míg a vízszintes tengelyen az idő múlását tizednapban. Az egyik eszköz egész este, folyamatos működésben volt, ezt a folyamatos kékvonal szemlélteti (11. ábra).




A mi műszerünk mérési eredményeit zöld pontjakkal tüntettük fel. Az eredményeket látva megállapíthatjuk, hogy a készülékünk a megengedett hibahatáron belül mér, tehát korrekció nélkül használható.

MÉRÉSI ÚTVONALAK

Magyarországon két fényszennyezésmentes természetvédelmi terület található, amit az IDA (International Dark-Sky Association), vagyis a Nemzetközi Csillagsegébség Szövetség elfogadott. Ezek a hortobágyi, és a zselici Csillagsegébség-parkok. Háttérfényességi értékeiket megnéztük a honlapjukon, amelyek átlagosan megegyeztek az Illancson mért eredményeinkkel. (Ezen a Bajához közeli területen kalibráltuk a készülékünket.) Egy fényszennyezettségi viszonyokat bemutató térkép alapján kiderítettük, hogy a hozzánk legközelebb eső legkevésbé fényszennyezett terület a Hegyhát, ezért esett a választásunk erre (12. ábra).



Két fő csoportra oszthatjuk a helyeket ahol a kutatásunkat végeztük. Az egyik helyszín Szekszárd, a másik az előbb említett, Tolna megyében elterülő Hegyhát térsége. Két térképen piros pontjakkal jelöltük a helyszíneinket. A bal oldali térképen Szekszárdot és az azt körülvevő szőlődombokat láthatjuk, a jobb oldalon pedig a Hegyhát térségét (13. ábra).

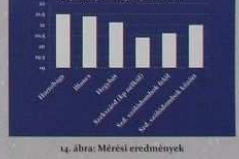


EREDMÉNYEK

Összehasonlításnak megnéztük a hortobágyi és a zselici Csillagsegébség-parkok háttérfényességi értékeit (14. ábra). Mindkettő átlagosan 21-21,5 (magnitúdó per szögmásodperc) volt.

Az Illancs területén végeztünk egész éjszakai mérés során is ezeket az értékeket kaptuk, tehát az is rendkívül jó fényszennyezettségi viszonytal rendelkezik. Hivatalos szervek is mérnek jelenleg ezen a területen, hogy ha megfelel az előírásoknak, szintén Csillagsegébség-parkká nyilváníthatassák.

A szekszárdi méréseket 3 részre osztottuk. Az egyik, amikor a belvárost figyelmen kívül hagyva átlagoltunk, ez az érték 20,4. A másik, amikor a szőlődombok felőli oldalon mértünk, ami 20,6-et adott ki. A harmadik rész a szőlődombok közötti értékek átlaga 21, ami szintén nagyon jó eredmény.



TOVÁBBI TERVEK

Egyik célunk a hegyháton további területek háttérfényességét megmérni, összehasonlítani és átlagolni jelenlegi eredményeinkkel, valamint az akkori és az eddig megmért eredmények pontosságát használatával. Ezentúl a lámpacserék után is elvezetnénk városunkban a kutatást, hogy megtudjuk, fényszennyezettségi szempontból mennyire volt sikeres a lámpacseré-projekt.

MAUL EDINA • GARAY JÁNOS GIMNÁZIUM • SZEKSZÁRD • FELKÉSZÍTŐ TANÁR: DÖMÉNYNÉ SÁGODI IBOLYA

Készítette: Maul Edina, tanuló



Hópelyhek (Fotó: Visontai Flóra)



Éjszakai világító felhők (Fotó: Visontai Flóra)



Zivatarfelhő szivárvánnyal, 2010 (Fotó: Visontai Flóra, tanuló)



Szivárvány, 2010 (Fotó: Visontai Flóra, tanuló)

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm dr. Tasnádi Péternek, a témavezetőmnek az időt, amit rám szánt, a sok segítséget, a jó tanácsokat, hasznos szakmai útmutatásait, melyekkel segítette e munka, valamint publikációim elkészültét. Köszönöm a türelmét, mellyel végighallgatott és biztató szavait, amelyekkel átsegített a nehézségeken.

Köszönöm dr. Tél Tamás professzor úrnak, hogy bízott bennem, hogy nehéz helyzetben is mellettem állt és mindvégig odafigyelt munkámra, és ösztökélt az kijelölt úton való végighaladásra.

Hálás vagyok Dr. Juhász Andrásnak a kedvesen biztató szavakért, a Fizika Tanítása Doktori Iskola létrehozásáért, működtetéséért. Köszönöm továbbá mindkettőjüknek, hogy lehetőséget biztosítottak arra, hogy konferenciákra eljuthassak, ott előadásokat tarthassak, valamint hogy felvállalták, hogy segítik a fizikatanárok kutatómunkáját egy doktori iskola létrehozásával.

Köszönet illeti közvetlen kollégáimat is, akik a tanulmányaim miatti hiányzásomkor mindig készségesen helyettesítettek és próbálták a lehetetlent is megoldani.

Köszönetemet szeretném kifejezni kedves tanítványaimnak, akik nélkül ez a munka nem jöhetett volna létre. Lelkes munkához való hozzáállásukat, a sok megfigyelésben együtt töltött estét, utazással eltöltött hétvégét, amely mindig megerősítést adott számomra, hogy érdemes továbbhaladnom a megkezdett úton.

Köszönöm az értekezés bírálóinak, hogy elvállalták a dolgozat kritikus szemmel történő áttekintését, és hogy felmerülő kérdéseikkel segítik munkámat, támogatják a fizikatanítás megújulását.

Köszönetet szeretnék mondani családomnak a sok türelemért és segítségért, amit munkám elkészüléséhez nyújtottak. Köszönöm, hogy elviselték hiányomat a háztartásban, amikor rengeteg időt és energiát áldoztam erre a nyolc éves óriási munkára.

Summary

The thesis summarises research and developmental results regarding the renewal of methods and syllabus of teaching physics in secondary schools. All the topics it deals are at the boundaries of both physics and geography, neither discipline consider them of its own, nor deal with them in appropriate detail. However, as the present dissertation proves, these topics have motivating power and are interesting for students. A common feature of the syllabus improvement is the adaptation of methods based on research.

The first part of the work presents the observation of two interesting natural phenomena by students in the environmental physics club, the preliminary work as well as the follow-up activities. It also demonstrates the possibilities of the secondary school level interpretation: the halo phenomena, which provide many opportunities for observation and understanding the world by adopting the laws of geometric optics, and the planning of the observation-measuring of the 2012 Transit of Venus, the observation itself and two simplified mathematical models related to periodicity and defining the astronomical unit.

The part about halo phenomena contains a ten-lesson module together with detailed lesson plans and reflections. (The project is based on the experiences gained during teaching the phenomena) When studying the halo phenomena students took their own photographs, then with the help of a programme on the Internet they created the finished images by simulation. The topic provides opportunities for calculations which make students use their minds. To aid the calculations necessary for the quantitative explanation of the occurrences students made crystal models.

The second half of the thesis contains the processing of tests and measurements in the field of environmental physics and geography by the physics club; a simple, self-made method for geographic localization, how to prepare an own “rainfall prognosis” with the help of meteorological radar images, and a practice to measure light pollution within the framework of a student project.

The geographical localization is based on the usage of simple instruments (a gnomon and a quadrant), the aim of it was to pursue individual student work and improving their creativity. The device I constructed is capable of measuring both geographical coordinates.

Based on a cineloop available on the Internet I constructed a method which enabled my students “to predict” when the rain arrives to the places where they live. By extrapolating the movement of a rainfall zone, applying the basics of physics they were able to do so.

Measuring the diffuse night sky background light is actually a photometric measurement, the theory of which had to be explained to students. I worked out a student research project built on the measurement. We set up a hypothesis for the condition of the night sky over our town and its surroundings, based on Hungary’s light pollution map, we performed some measurements, and after evaluating them we could decide whether our hypothesis was proved or disproved. When realizing the project I teach my students to protect our environment, too.

The last chapter of the thesis looks at the effect the effectiveness of the developed syllabuses, measurements and tool improvement can have on students’ attitude towards physics, as well as the possibilities of using it in talent management. As a part of that I describe the process of building up the environmental physics club’s inventory, which requires conscious planning, and the tendering activities.

I consider the most important result of my doctoral work the fact that I managed to prove that it is worth learning about atmospheric physics and astronomy in secondary schools because through them modern, physics-related practical topics can be dealt with in a complex way. As a positive effect of all of this students’ attitude towards physics has changed favourably.